

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Desarrollo de un modelo preliminar sobre la incidencia de variables ambientales y
geográficas en las tasas de prevalencia de la Nefropatía Mesoamericana en Costa
Rica”**

Oscar Eduardo Ulloa Meza

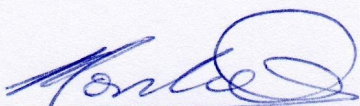
CARTAGO Diciembre, 2018

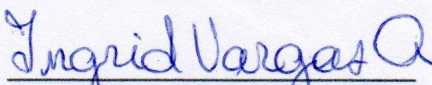


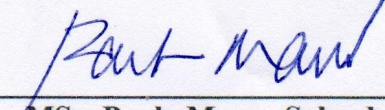
“Desarrollo de un modelo sobre la incidencia de variables ambientales y geográficas en las tasas de prevalencia de la Nefropatía Mesoamericana en Costa Rica”


Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

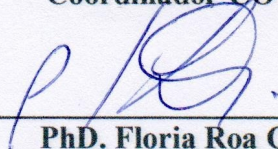
Miembros del tribunal

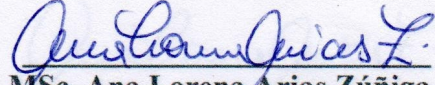

PhD. Virginia Montero Campos
Director


MSc. Ingrid Vargas Azofeifa
Lector 1


MSc. Paulo Manso Salgado
Lector 2


MSc. Diana Zambrano Piamba
Coordinador COTRAFIG


PhD. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química


MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi mamá Carmen Meza y a mi papá Oscar Ulloa por motivarme a seguir mis sueños e inculcarme a dar lo mejor de mí en el día a día, sin rendirme a pesar de que las circunstancias no siempre fueran las deseadas, porque al final valdrá la pena.

A mi hermana Wendy por su apoyo y su mensaje de seguir adelante desde que empecé este proceso y a mi hermano José por su ayuda en diferentes momentos.

A Róger Fonseca por su incondicional apoyo desde el inicio de este proyecto y por siempre creer en mí y en lo que puedo lograr si me lo propongo, por el positivismo que me transmite y la motivación a perseguir lo que deseo. Agradezco toda la paciencia y comprensión me ha tenido a lo largo este tiempo y por escucharme siempre.

A mis amigos y a todas las personas increíbles que conocí en este viaje, que se han convertido en un sostén en mi vida y me han permitido crecer como persona.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por brindarme cada una de las oportunidades de superarme como persona y alcanzar las metas que me plantee.

A Werner Stolz España, jefe del Departamento de Meteorología, Sinóptica y Aeronáutica del Instituto Meteorológico Nacional por la cooperación brindada y la disposición a contribuir en este proyecto. Así como a dicha institución que cooperó con facilitar información necesaria para que este proyecto pudiera llevarse a cabo.

A Melvin Alpízar Marín del Centro del Centro de Investigación en Contaminación Ambiental de la Universidad de Costa Rica por el apoyo durante la visita de identificación de las fallas y su disposición a ayudar.

A mi tutora Virginia Montero Campos por la confianza depositada en mi desde el inicio y por todo el acompañamiento brindado durante todo el proceso hasta la culminación de este proyecto.

A Eric Romero Blanco por su ayuda en una etapa importante del trabajo y estar anuente a ayudar en todo momento.

A mis lectores por dedicar su tiempo en la lectura de este trabajo final y considerar la relevancia que podría tener en poblaciones vulnerables.

A mis amigos y a todas las personas increíbles que conocí en este viaje, que se han convertido en un sostén en mi vida y me han permitido crecer como persona.

A todos los profesores que contribuyeron con mi formación académica, especialmente a los de la Carrera de Ingeniería Ambiental.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. <i>DESCRIPCIÓN DE LA ENFERMEDAD</i>	3
3.2. <i>CONTEXTO GEOGRÁFICO DE LA PATOLOGÍA</i>	6
3.3. <i>SITUACIÓN EN COSTA RICA</i>	8
3.4. <i>FACTORES DE RIESGO</i>	9
3.4.1. Material particulado.....	9
3.4.2. Actividad volcánica.....	11
3.4.3. Metales	12
3.4.4. Altura.....	14
3.4.5. Agricultura.....	15
3.4.6. Viento	18
3.4.7. Condiciones ocupacionales y sociales.....	20
3.5. <i>SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA</i>	21
3.6. <i>MODELACIÓN COMPUTACIONAL</i>	22
3.7. <i>PAPEL DEL INGENIERO AMBIENTAL</i>	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS	24
4.1. <i>ELABORACIÓN DE LOS MAPAS</i>	24
4.2. <i>RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS</i>	25
4.2.1. Tasa de la enfermedad	26
4.2.2. Cultivo de la caña de azúcar	27

4.2.3.	Geología y topografía de los suelos.....	28
4.2.4.	Polvo del Sahara	29
4.2.5.	Temperatura, humedad y precipitación	30
4.3.	<i>MODELOS DE VIENTO</i>	30
4.4.	<i>DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO DE EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN</i>	33
4.4.1.	Descripción de las características físicas del sitio	33
4.4.2.	Descripción de la población	34
4.4.3.	Modelo matemático para las variables	34
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1.	<i>ANÁLISIS DE LOS MAPAS</i>	36
5.1.1.	Tasa de la enfermedad	36
5.1.2.	Agricultura.....	38
5.1.3.	Geología y topografía	46
5.1.3.1.	Origen de los suelos.....	46
5.1.3.2.	Fallas geológicas.....	49
5.1.3.3.	Altura	53
5.1.3.4.	Región montañosa	57
5.1.3.5.	Sitios con presencia de arsénico	59
5.1.4.	Polvo del Sahara	61
5.1.5.	Temperatura.....	62
5.1.6.	Humedad relativa promedio anual.....	67
5.1.7.	Precipitación.....	69
5.2.	<i>ANÁLISIS DE LOS MODELOS</i>	70
5.3.	<i>DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO DE EXPOSICIÓN</i>	78
5.3.1.	Determinación de las características físicas	79
5.3.2.	Descripción de la población	84

5.3.3. Análisis del modelo matemático elaborado.....	89
5.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO	93
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
6.1. CONCLUSIONES.....	94
6.2. RECOMENDACIONES.....	96
7. REFERENCIAS	97
APÉNDICES.....	110
APÉNDICE 1: MAPAS ADICIONALES	111
APÉNDICE 2: RESULTADO COMPLETO DE LA REGRESIÓN REALIZADA.....	114
ANEXOS	120
ANEXO 1: MODELOS DE VIENTO ADICIONALES	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Pielograma retrógrado. Tomado de Arley (2016).	4
Figura 2. Región Mesoamericana. Tomado de Correa-Rotter, Wesseling & Johnson (2014).	7
Figura 3. Cinturón de fuego del Pacífico. Tomado de Dobeck (2010).	12
Figura 4. Etapas del cultivo de la caña de azúcar. Tomado de Aguilar (2011).	18
Figura 5. Cantones seleccionados para el análisis de factores ambientales y geográficos.	24
Figura 6. Distribución espacial de la tasa de ERC por cada 100 000 habitantes en Costa Rica entre 2007 y 2014. Fuente de los datos: Quirós (2015).	37
Figura 7. Distribución de la cantidad de fincas con actividad principal agrícola por cantón. Fuente de los datos INEC (2014).	39
Figura 8. Distribución de la extensión sembrada en hectáreas de caña de azúcar por cantón. Tomado de INEC (2014).	40
Figura 9. Extensión sembrada de caña de azúcar en hectáreas por tipo de fertilizante. Tomado de INEC (2014).	41
Figura 10. Distribución de las plantaciones de caña de azúcar por regiones. Tomado de LAICA (2018).	42
Figura 11. Distribución espacial de los cultivos y la población en Cañas y Bagaces.	43
Figura 12. Distribución de los cultivos y la población en Esparza, Puntarenas.	44
Figura 13. Tasa de hectáreas de caña de azúcar quemadas por cada 10 000 hectáreas de terreno en Costa Rica. Fuente de los datos: Quirós (2015).	45
Figura 14. Mapa de ubicación del suelo de tipo ultisol en Costa Rica. Tomado de INTA (2015).	46
Figura 15. Mapa de ubicación del suelo de tipo andisol en Costa Rica. Tomado de INTA (2015).	47

Figura 16. Composición de una capa de suelo de origen volcánico. Tomado de Agencia Española de Cooperación Internacional (2006).....	49
Figura 17. Localización de fallas geológicas en Cañas, Guanacaste.	50
Figura 18. Localización de la falla Cañas en Guanacaste. Tomado de RSN (2015).....	50
Figura 19. Puntos de reconocimiento de las fallas en Cañas, Guanacaste.	51
Figura 20. Escenario de Bebedero.....	52
Figura 21. Localización de fallas geológicas en Esparza, Puntarenas.....	53
Figura 22. Curvas de nivel de Cañas y Bagaces, Guanacaste.	54
Figura 23. Curvas de nivel del distrito de Bebedero, Cañas, Guanacaste.	55
Figura 24. Curvas de nivel del cantón de Esparza, Puntarenas.	56
Figura 25. Ubicación de las montañas cercanas a Cañas, Guanacaste.	58
Figura 26. Ubicación de las montañas cercanas a Esparza, Puntarenas.	59
Figura 27. Puntos de muestreo de agua determinados como positivos por arsénico en Costa Rica.....	60
Figura 28. Distribución del polvo del Sahara en Mesoamérica por acción del viento. Tomado de Martins (2018).	62
Figura 29. Temperatura máxima promedio anual en Costa Rica.	63
Figura 30. Variación mensual de la temperatura máxima promedio en la estación meteorológica La Pacífica, Cañas.	64
Figura 31. Variación mensual de la temperatura máxima promedio en la estación meteorológica San Miguelito de Barranca en Puntarenas.	64
Figura 32. Humedad relativa promedio anual en Costa Rica.	67
Figura 33. Variación mensual de la humedad promedio en la estación meteorológica La Pacífica, Cañas.....	68
Figura 34. Variación mensual de la humedad promedio en la estación meteorológica San Miguelito de Barranca en Puntarenas.	68

Figura 35. Variación mensual de la precipitación promedio en la estación meteorológica La Pacífica, Cañas.....	69
Figura 36. Variación mensual de la precipitación promedio en la estación meteorológica San Miguelito de Barranca en Puntarenas.	70
Figura 37. Interpretación de las barbas de viento. Tomado de Comisión Permanente del Pacífico Sur (2018).....	71
Figura 38. Velocidad mensual promedio del viento medido en la estación meteorológica de Hacienda Mojica.....	71
Figura 39. Modelo computacional del viento en Guanacaste para el 17 de noviembre de 2017. Fuente: (IMN, 2017).....	72
Figura 40. Modelo computacional del viento en Guanacaste para el 15 de febrero de 2018. Fuente: (IMN, 2018).....	74
Figura 41. Efecto de Venturi en pasos de montaña. Tomado de IMN (s.f.).....	75
Figura 42. Modelo de viento creado por reanálisis del mes de febrero. Fuente de los datos: NOAA.....	76
Figura 43. Modelo de viento creado por reanálisis del mes de octubre. Fuente de los datos: NOAA.....	77
Figura 44. Diferentes tipos de monitoreo y sus relaciones con exposición, dosis y efectos. Tomado de Peña, Carter & Ayala-Fierro (2000).....	79
Figura 45. Topografía del suelo en Cañas.	80
Figura 46. Suelo en el distrito de Bebedero, Cañas, Guanacaste.	80
Figura 47. Terreno después de la zafra.....	81
Figura 48. Cultivos recientes de caña de azúcar.....	82
Figura 49. Efecto del viento sobre la vegetación.....	83
Figura 50. Levantamiento del polvo por acción del viento. Fuente: Cubero (2018).....	84
Figura 51. Distritos del cantón de Cañas, Guanacaste.	85

Figura 52. Población por sexo y edad en el cantón de Cañas. Tomado de INEC (2012).....	86
Figura 53. Nivel educativo de la población en el cantón de Cañas. Tomado de INEC (2012).	87
Figura 54. Vivienda en el distrito de Bebedero, Cañas, Guanacaste.....	88
Figura 55. Escuelas mapeadas en el cantón de Cañas, Guanacaste.....	89
Figura 56. Gráficas de residuos para la tasa de la enfermedad real.....	91

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Grados de la enfermedad renal crónica.....	5
Cuadro 2. Funciones de algunas herramientas de QGIS.	25
Cuadro 3. Especificaciones técnicas del modelo WRF.	31
Cuadro 4. Especificaciones técnicas del modelo NAAR.	32
Cuadro 5. Datos climatológicos solicitados de las estaciones meteorológicas del IMN.....	33
Cuadro 6. Tasa de incidencia de NM por cada 100 000 habitantes en dos distritos de Cañas durante el 2017.	38
Cuadro 7. Elementos con mayor proporción en tefras recientes en el suelo.	48
Cuadro 8. Alturas obtenidas por medio de GPS en lugares de interés.	57
Cuadro 9. Variación de la temperatura global ocasionada por el efecto del fenómeno de El Niño y La Niña.	66
Cuadro 10. Características demográficas y geográficas del cantón de Cañas.....	85

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AyA	Acueductos y Alcantarillados
Ca ²⁺	Calcio
CAIS	Centro de Atención Integral en Salud
CCSS	Caja Costarricense del Seguro Social
CICA	Centro de Investigación en Contaminación Ambiental
Cl ⁻	Cloruro
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
ERC	Enfermedad Renal Crónica
GPS	Global Positioning Systems (Sistemas de Posicionamiento Global)
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
ICS	Índice Compuesto de Salud
IDS	Índice de Desarrollo Social
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INTA	Instituto Nacional De Innovación y Transferencia En Tecnología
IRCec	Agropecuaria Insuficiencia Renal Crónica de etiología conocida
IRced	Insuficiencia Renal Crónica de etiología desconocida
K ⁺	Potasio
KDIGO	Kidney Disease: Improving Global Outcomes
LAICA	Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MEP	Ministerio de Educación Pública
NAAR	National Oceanic and Atmospheric Administration
NOAA	North American Regional Reanalysis
Mg ²⁺	Magnesio
Na ⁺	Sodio
NM	Nefropatía Mesoamericana
ONI	Oceanic Niño Index
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OVSICORI	Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica

PM	Material Particulado
RRTM	Rapid Radiative Transfer Model
RSN	Red Sismológica Nacional
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SRCs	Sistemas de Referencia de Coordenadas
TFG	Tasa de Filtración Glomerular
UCR	Universidad de Costa Rica
UNA	Universidad Nacional
WRF	Weather Research & Forecasting System
WSM3	WRF Single-Moment 3-class
YSU	Yonsei University

RESUMEN

La Enfermedad Renal Crónica (ERC) es una insuficiencia que causa la pérdida progresiva de las funciones de los riñones y a su vez es un problema de salud pública a nivel mundial. Esta enfermedad ha sido relacionada, generalmente, a causas como la diabetes y la hipertensión en personas mayores de 65 años. La Nefropatía Mesoamericana (NM) es un tipo de ERC originada por causas no tradicionales o conocidas; se presume que se debe a la convergencia de factores ambientales y geográficos. La NM se presenta comúnmente en personas jóvenes relacionadas con la agricultura en las zonas más bajas de la costa del Pacífico de Mesoamérica. Este proyecto surge ante la necesidad de identificar el escenario al que están sometidas ciertas poblaciones costarricenses con respecto a variables geográficas y ambientales, relacionándolas con la Nefropatía Mesoamericana en poblaciones determinadas como de alta y baja prevalencia en estudios anteriores. Para lograrlo se utilizaron herramientas de sistemas de información geográfica para la elaboración de mapas de factores ambientales y geográficos a partir de datos obtenidos por medio de GPS, consultas en diferentes instituciones públicas, visitas de campo y de la revisión de documentos y registros estableciendo que la temperatura, humedad y precipitación son similares en las zonas de alta y baja prevalencia, pero difieren en la cantidad de hectáreas de caña de azúcar sembradas y el tipo de suelo predominante. Además, por medio de modelos computacionales y de reanálisis se visualiza la situación con respecto al viento comprobando que en ambas zonas la dirección predominante es de noreste al suroeste, atravesando las montañas y cañales hasta llegar a los lugares de mayor densidad de población pudiendo afectar la tasa de NM. Finalmente, en conjunto todos los factores permiten conocer el escenario de la exposición de la población del cantón con mayor prevalencia de la enfermedad.

Palabras claves: Nefropatía Mesoamericana, modelación computacional, SIG, viento, fallas geológicas, caña de azúcar.

ABSTRACT

Chronic Kidney Disease (CKD) is a failure that causes progressive loss of kidney function and a worldwide public health problem. This disease has been related with diabetes or hypertension and being older than 65 years old. Mesoamerican Nephropathy (NM) is a type of CKD caused by nontraditional or known causes; it is said that it is due to the convergence of environmental and geographic factors. The NM is commonly found in young people related with agriculture in the lower altitudes of the Pacific coast of Mesoamerica. This project arises from the lack of knowledge of the scenario in which some Costa Rican populations are exposed, relating the prevalence of NM with geographic and environmental variables identified associating them with Mesoamerican Nephropathy in populations determined as high and low prevalence in previous studies. To achieve this, maps of geographical and environmental factors were designed using geographic information systems tools. These maps were designed with data obtained with GPS, interviews in different public institutions, data obtained from fieldwork and the review of documentation and records, establishing that temperature, humidity and precipitation are similar in high and low prevalence zones, but differ in the number of hectares of sugarcane planted and the predominant type of soil. In addition, using computational and reanalysis models, the situation with respect to the wind is visualized, confirming that in both zones the predominant direction is from northeast to southwest, crossing the mountains and cane until reaching the places with the highest population density, affecting the NM rate. Finally, all these factors allow to know the exposure scenario of the population of the canton with the highest prevalence of the disease.

Key words: Mesoamerican Nephropathy, computational modeling, GIS, wind, geological faults, sugarcane.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente Costa Rica junto a algunas zonas del resto de Centroamérica y el sur de México presentan un grave problema de insuficiencia renal crónica originado por factores no tradicionales llamada “Nefropatía Mesoamericana”. Mientras que algunos de los factores tradicionales describen con esta enfermedad a personas mayores de 60 años, con diabetes tipo II e hipertensión arterial (Sellarés, 2012), los no tradicionales describen un escenario completamente opuesto y multifactorial. Según la OPS, este ha sido considerado uno de los problemas de salud pública más importantes de los últimos años (López, Ribó, Quinteros, Mejía, López & Orantes, 2014), afectando a miles de personas en comunidades rurales de Nicaragua, El Salvador y Costa Rica. Se han presentado más de 16.000 muertes en Centroamérica entre el 2005 y el 2009 (M.S El Salvador, 2014).

En Costa Rica se está detectando este padecimiento específico en pacientes entre los 20 y 40 años, niños y personas jóvenes relacionadas directamente o no con la agricultura (Wong, Cervantes & Abarca, 2014). En la zona de Guanacaste se presenta una tasa de prevalencia mayor que en las demás provincias, según estadísticas realizadas entre los años 1970 y 2012 (Wesseling, 2015), que preocupa a las autoridades nacionales.

Anteriormente se estudió de forma preliminar la relación que algunos factores podrían tener sobre la enfermedad renal crónica de causas no tradicionales, para esto, Quirós (2015) utilizó un “Modelo de Regresión Multivariado” y un Método Simplex que permitieron determinar los lugares estadísticamente significativos para varias variables toxicológicas ambientales en nuestro país.

No obstante, hay un vacío para poder identificar el escenario al que están sometidas ciertas poblaciones costarricenses, relacionando las tasas de la Nefropatía Mesoamericana con variables geográficas y ambientales. Por eso, este trabajo de investigación pretende ahondar en este tema para lograr visualizar el escenario de exposición en los espacios geográficos seleccionados e impactar de forma positiva, con miras a proponer un abordaje adecuado para la población y que pueda incidir en políticas públicas para el resguardo de la población vulnerable.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de manejo de variables ambientales y geográficas relacionadas con la Nefropatía Mesoamericana.

2.2. Objetivos específicos

- i. Elaborar mapas que permitan ubicar espacialmente las variables ambientales y geográficas asociadas a las tasas de la Nefropatía Mesoamericana en Costa Rica utilizando herramientas SIG.
- ii. Comparar mediante un modelo computacional la posible relación del viento con variables ambientales y geográficas en zonas de alta y baja prevalencia.
- iii. Determinar el escenario de exposición a tóxicos del suelo levantados por el viento que podrían ser ingeridos o inhalados por la población de las zonas de baja y alta prevalencia.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ENFERMEDAD

Los riñones tienen funciones primordiales que ayudan al adecuado funcionamiento del cuerpo humano; éstos se encargan principalmente de regular la concentración de iones como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , fosfatos y sulfatos en la sangre, así como el volumen de fluido extracelular, por medio del control del Na^+ y la excreción de agua. Además, eliminan productos de desecho del metabolismo como urea, ácido úrico, creatinina y otros compuestos tóxicos del cuerpo (Rhoades & Bell, 2012).

La Enfermedad Renal Crónica (ERC) es un síndrome clínico que se caracteriza por la pérdida de células renales, el deterioro gradual de la tasa de filtración glomerular, de la capacidad de reabsorción y de la disminución de las funciones endocrinas de los riñones (Mattson, 2010). En su etapa más leve es asintomático, mientras que en su estado más severo requiere de diálisis o trasplante de riñón (Frontera & Rizzo, 2014).

El diagnóstico de la ERC se realiza principalmente por medio de una estimación de la tasa de filtración glomerular, la creatinina sérica y de la albuminuria (Martínez-Castelao *et al.*, 2014). Sin embargo, es por medio de imágenes radiológicas que se descartan enfermedades de tipo obstructivo y anomalías estructurales (Martínez-Castelao *et al.*, 2014), el pielograma retrógrado, como el mostrado en la Figura 1, es uno de estos estudios que permiten identificar ciertas características en un paciente con ERC, observando el tamaño y forma de los riñones (Iwafuchi *et al.*, 2015).



Figura 1 Pielograma retrógrado. Tomado de Arley (2016).

En el Cuadro 1. Grados de la enfermedad renal crónica, se pueden observar las categorías o grados en el que se podría encontrar un paciente con enfermedad renal crónica según las guías Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO), de acuerdo con la tasa de filtración glomerular y de albuminuria y clasificando el riesgo por colores, en donde el verde representa un bajo riesgo, el amarillo un riesgo moderadamente incrementado, anaranjado un alto riesgo y rojo un muy alto riesgo (García-Trabanino *et al.*, 2017).

Cuadro 1. Grados de la enfermedad renal crónica.

KDIGO 2012			Albuminuria		
			Categorías, descripción y rangos		
			A1	A2	A3
			Normal a ligeramente elevada	Moderadamente elevada	Gravemente elevada
Filtrado glomerular Categorías, descripción y rangos (ml/min/1,73 m ²)			< 30 mg/g ^a	30-300 mg/g ^a	> 300 mg/g ^a
G1	Normal o elevado	≥ 90			
G2	Ligeramente disminuido	60-89			
G3a	Lidera a moderadamente disminuido	45-59			
G3b	Moderada a gravemente disminuido	30-44			
G4	Gravemente disminuido	15-29			
G5	Fallo renal	< 15			

Fuente: (García-Trabanino et al., 2017)

Esta enfermedad se clasifica en dos tipos, según sean las causas que la originan; si se debe a causas tradicionales como la edad de los pacientes (más de 65 años), diabetes tipo II e hipertensión arterial, se le denomina Insuficiencia Renal Crónica de Etiología Conocida (IRCec), mientras que si está relacionada a causas no tradicionales como factores toxico-ambientales y ocupacionales, se le llama Insuficiencia Renal Crónica de Etiología Desconocida (IRCed). Es importante destacar que ambos tipos de insuficiencia pueden ser totalmente diferenciados desde el punto de vista histológico y químico clínico. (Wesseling, 2014).

La IRCed resulta en la disminución pausada y gradual de los riñones por posibles factores como el contacto con agroquímicos, plaguicidas y metales pesados nefrotóxicos: Pb, As, Cd, V, Hg y todos los de origen volcánico, así como la presencia principalmente en personas jóvenes y niños (Wesseling, 2014).

Muy pocos lugares del mundo presentan IRCed, entre estos están Centroamérica y el sur de México en Mesoamérica, India, Egipto y Sri Lanka. Este último, es uno de los países que ha dado un importante conocimiento científico al respecto (Jayasumana et al., 2013). Al

ser la ERCed clasificada como una patología totalmente caracterizada recibe el nombre específico de Nefropatía Mesoamericana (NM) (Wesseling et al., 2015).

Jayasumana y colaboradores (2014), han asociado el problema al arsénico, cadmio, residuos de glifosato, agua dura consumida y fósforo en el suelo, proponiendo que todos estos se presentan como un conjunto que puede evadir el paso por el hígado y de esta forma llegar específicamente al riñón; no obstante, este autor no ha relacionado algún componente genético que pueda estar vinculado con la enfermedad en Costa Rica. Esta enfermedad muestra signos de ser una enfermedad tubulointersticial crónica asociada con glomeruloesclerosis (Raines et al., 2014) y que genera inflamación focalizada presentando evidencia de isquemia glomerular (Wijkström, 2013).

Según Campese (2016), la NM afecta principalmente a agricultores hombres y jóvenes entre las edades de 20 y 30 años que están expuestos a elevadas temperaturas y que presentan condiciones de presión sanguínea normal o baja, reducción de la tasa de filtración glomerular estimada, proteinuria no nefrótica e hiperuricemia.

3.2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE LA PATOLOGÍA

Tal como se muestra en la Figura 2, Mesoamérica es una región comprendida por el sur, este y centro de México, toda Guatemala y Belice, así como la parte oeste de Honduras, El Salvador, Costa Rica y Panamá (Witschey, 2012).



Figura 2. Región Mesoamericana. Tomado de Correa-Rotter, Wesseling & Johnson (2014).

Solo en Nicaragua, Honduras y El Salvador, las tasas de mortalidad ajustadas por edad debido a la Nefropatía Mesoamericana se encuentran entre las más altas del mundo; en Nicaragua estudios reflejan que es de tres a cinco veces más común que los hombres presenten la enfermedad que las mujeres y por lo general a edades menores a los 40 años (Laws *et al.*, 2015). Las tasas de mortalidad debido a ERC en hombres para los países de Mesoamérica son muy altas, en el caso de Guatemala la tasa de muerte es de 16 por cada 100 000 habitantes, en El Salvador de 66 a 64 muertes por cada 100 000 habitantes, en Panamá 15 por cada 100 000, en Costa Rica 8 por cada 100 000 y para las mujeres son mucho menores. En el caso de Nicaragua en donde la tasa de mortalidad para hombres es de 66 muertes por cada 100 000 habitantes y para mujeres es de 21 muertes por cada 100 000 habitantes (Lozier, Turcios-Ruiz, Noonan & Ordunez, 2016).

3.3. SITUACIÓN EN COSTA RICA

La zona de mayor afectación por la ERC en Costa Rica está ubicada al norte del país, en la provincia de Guanacaste y en general en regiones donde la principal actividad es la agricultura y con altitudes menores o iguales a 500 metros sobre el nivel del mar (Wong *et al.*, 2014).

En nuestro país los casos se han incrementado en los últimos años y por esta razón la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) se ha visto obligada a ampliar la capacidad de las instalaciones para pacientes con enfermedad renal crónica, aumentando el número de cubículos para el tratamiento en el Centro de Atención Integral en Salud de Cañas (CAIS) y el hospital La Anexión (Solís, 2016; Solís, 2017), además de la apertura de más turnos para médicos y enfermeros con el fin de tratar una mayor cantidad de pacientes en la unidad de diálisis intermitente y ambulatoria en dicho centro de Cañas y en el hospital Enrique Baltodano Briceño en Liberia (Solís, 2016).

En un trabajo previo, Quirós (2015) determinó por medio de una Regresión Multivariada de Poisson la posible relación de variables toxicológicas ambientales que podrían tener incidencia en la patología renal específica en Costa Rica. A partir de esto se seleccionaron como variables a considerar: las hectáreas de caña de azúcar quemada, la humedad relativa promedio anual, la temperatura máxima promedio anual y la presencia de arsénico en la zona, determinada por su contenido en el agua de consumo humano en algún momento, aunque el agua ya esté siendo tratada. También en dicho trabajo, por medio del Método Simplex, se determinaron las poblaciones a nivel nacional estadísticamente significativas con respecto a la relación entre las tasas de enfermedad y el cultivo de caña en los diferentes cantones, determinándose como alta en el cantón de Cañas en Guanacaste, luego en Esparza de Puntarenas (cantón en donde se cultiva caña de azúcar, pero no presenta tasa alta de insuficiencia renal) y como población blanco (cantón que presenta características ambientales totalmente contrarias a las que presenta Cañas): El Guarco de Cartago.

3.4. FACTORES DE RIESGO

A pesar de que no hay evidencia significativa que apoye la posibilidad de que la exposición a factores como los agroquímicos, pesticidas, metales pesados o localidad sean por sí solos la causa (Fogo & Kashgarian, 2016), se cree que unidos a ciertas condiciones ambientales y geográficas aumentan la probabilidad de padecer la enfermedad. De acuerdo con Bundschuh (2017), la NM es una enfermedad multifactorial que incluye los pesticidas, toxinas ambientales, contaminación del agua potable, metales pesados, arsénico de origen geogénico o antropogénico, altas temperaturas y una mala hidratación.

A continuación, se presentan algunos de los factores que se consideran importantes para este trabajo:

3.4.1. Material particulado

La exposición a material particulado (PM) se encuentra relacionada con la posibilidad de provocar problemas en la salud, tales como afecciones cardíacas o pulmonares, infartos de miocardio no mortales, latidos irregulares, asma, disminución en la función pulmonar y otras (EPA, 2018). Las PM₁₀ consisten en partículas de hasta 10 µm de diámetro y por lo general compuestas por sulfatos, nitratos, amonio, cloruro de sodio y carbón negro que crean irritaciones y bloqueos en las vías bronquiales, por otro lado, las partículas con diámetros de hasta 2,5 µm (PM_{2,5}) resultan más peligrosas debido a su capacidad de penetrar regiones del sistema respiratorio y han sido asociadas a algunos metales pesados como hierro y la quema de combustibles fósiles (UNICEF, 2016). Las partículas ultrafinas, cuyo diámetro es menor a 0,1 µm, pueden pasar directamente desde los alvéolos en los pulmones hasta el torrente sanguíneo, se asocian a la combustión incompleta de material orgánico, algunas de ellas como las compuestas por cadmio, vanadio o plomo se han relacionado con un grado de toxicidad renal y la aparición de tubulopatías (Oyarzún, 2010).

El polvo geogénico son las partículas minerales derivadas de la naturaleza y ha sido analizado debido a los efectos que produce en la salud (DeWitt *et al.*, 2016). Los aerosoles

atmosféricos se ven influenciados por la química de la tropósfera, como la proporción de ozono, también por el tamaño de las partículas y su composición química, que afectan a su vez la temperatura del aire (Derbyshire, 2007).

Es posible encontrar casos en donde los problemas en la salud humana se han debido a la exposición de contaminantes de origen geogénico, antropogénico o a una combinación de ellos en el agua potable o de riego, en los suelos utilizados para la agricultura y en la atmósfera. Además, se deben considerar los efectos aditivos que presentan las toxinas geogénicas o antropogénicas, como el caso de las ya mencionadas compuestas por cadmio y arsénico que tienen efectos aditivos en el riñón; en Sri Lanka han sido relacionados con los niveles de la enfermedad renal crónica que se presentan en dicho país (Bundschuh, 2017).

Los efectos en la salud humana debido a la exposición, principalmente por inhalación, a polvos minerales inorgánicos son más comunes en zonas rurales áridas y dedicadas a la agricultura. De acuerdo a pruebas de laboratorio en ratones realizadas en un estudio por Keil et al. (2016), se determinó que la exposición al polvo geogénico ocasiona en éstos animales diferencias significativas en la hemoglobina, en donde se elevó en un 5% y el volumen corpuscular promedio disminuyó en un 20%, además, se alteró la alanina aminotransferasa reduciéndose entre un 45,6% a un 62,6%, los niveles de creatinina aumentaron en un 10% y se encuentra la presencia de metales y metaloides en la sangre asociados con el polvo geogénico.

Aunque estos problemas pueden presentarse en personas de todas las edades, los niños son una población que se encuentra más en riesgo a ser afectada por la contaminación atmosférica debido a que estos respiran más rápidamente que los adultos, ocasionando que el aire esté más en contacto en sus pulmones, ocasionando a su vez que posibles partículas contaminantes ingresen en mayor cantidad a sus vías respiratorias, además, si estos respiran por la boca se evitaría toda la filtración que normalmente se tendría y el riesgo aumentaría. (UNICEF, 2016).

3.4.2. Actividad volcánica

La vía de entrada al organismo de elementos procedentes de la actividad volcánica puede ser tanto por medio de la respiración como de la ingesta no voluntaria y la duración de dicha exposición representa un rol importante en el padecimiento de problemas en la salud de las personas, pudiendo ocurrir una exposición corta y con efectos reversibles, o bien, crónicos; sin embargo, el patrón de dispersión y asentamiento de los tóxicos volcánicos que podría llegar a una zona se ve afectado por factores ambientales como la geografía, la presión de aire y el clima (Weinstein, Horwell & Cook, 2013).

La costa pacífica de Mesoamérica es caracterizada por presentar actividades volcánicas recientes que la hacen un ambiente rico en arsénico, cadmio y otros elementos tóxicos; además la región es conocida por contar con una gran cantidad de recursos hídricos, polvo atmosférico (Bundschuh, 2017) y por un suelo originado por lava volcánica y ceniza. Estos elementos producen un medio más alcalino y conllevan a una mayor absorción y retención del agua, creando condiciones óptimas para el desarrollo de la agricultura (Murray et al., 2015). El problema de la contaminación natural de los suministros de agua subterránea debido al arsénico de origen volcánico es una situación que va en aumento y que representa un problema debido a la escasez de agua (Montero-Campos & Puente-Urbina, 2016).

En la Figura 3 es posible observar la extensión del Cinturón de Fuego del Pacífico, en donde se localiza la mitad de los volcanes activos del mundo, y las líneas de color anaranjado que representan las placas tectónicas (Dobeck, 2010), dentro de dicha región se encuentra Mesoamérica, incluyendo Costa Rica, y países en donde se ha descrito la ERCed tal como en los territorios cercanos a Sri Lanka.

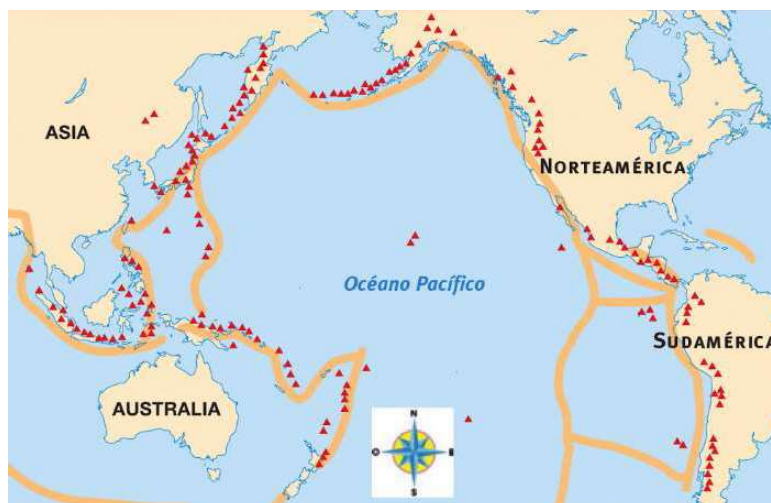


Figura 3. Cinturón de fuego del Pacífico. Tomado de Dobeck (2010).

En cuanto al suelo y especialmente a las rocas de origen volcánico en Cañas, Solano (2018) determina que se cuentan con dos depósitos que presentan características petrográficas propias, en donde el depósito Inferior se identifica como un flujo de pómez y el depósito Superior es un flujo de pómez enriquecido en escoria.

La actividad volcánica no ha sido directamente relacionada con la patología y existe un vacío en este campo, sin embargo, los factores como la presencia de metales pesados y en especial el arsénico sí ha sido analizado por autores como Wesseling (2015) Roncal-Jiménez, García-Trabanino, Wesseling & Johnson (2016) y otros.

3.4.3. Metales

Para Roncal-Jiménez, García-Trabanino, Wesseling & Johnson (2016), debido a que la Nefropatía Mesoamericana es principalmente una enfermedad tubulointersticial crónica, se cree que puede verse también desarrollada debido a la exposición a metales tóxicos como

el arsénico o incluso el cadmio, sin embargo, dichos autores mencionan que hay estudios previos que no apoyan que sea la causa exclusiva de la enfermedad.

Wragg et al. (2014) se refieren como bioaccesibilidad a la cantidad máxima de un contaminante en la matriz suelo que es válida para el proceso de absorción intestinal, y además relacionan al arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd) como elementos potencialmente dañinos para la salud humana. Lo anterior representa un factor de relevancia ya que la ingesta accidental de suelo contaminado ha sido identificada como una vía importante para la exposición humana al arsénico (Li, 2015).

Montero-Campos & Puente-Urbina (2016) indican que las exposiciones combinadas a elementos nefrotóxicos como el plomo, el cadmio y el arsénico son comunes tanto en situaciones ocupacionales como ambientales y pueden causar lesiones y efectos tóxicos en las células de los túbulos renales según el nivel de exposición.

El arsénico ha sido identificado en una gran cantidad de matrices como rocas, suelo, agua superficial o subterránea, aire y puede estar en alguna de sus formas inorgánicas (-3, 0 y +5) u orgánica, generando de esta forma efectos adversos en la salud al ser introducido al organismo (Nordberg, & Cherian, 2013). Cuando este ha sido encontrado en aguas subterráneas es por lo general debido a su cercanía con fuentes geológicas o industriales ricas en arsénico (manantiales geotérmicos, drenaje de áreas mineralizadas y mineras, fuentes de contaminantes específicas) y el alcance de esta contaminación suele ser muy localizado porque las condiciones geoquímicas en la mayoría de los acuíferos no favorecen la movilización de arsénico a escala regional (Smedley, & Kinniburgh, 2013).

De acuerdo con Irfan (1999), el origen del arsénico en el suelo puede deberse a procesos geológicos naturales como lo son la cataclasis que es el proceso por el cual se forma una roca a partir de una fracturación y trituración continua de roca existente, el corte de las rocas volcánicas ocasionado por procesos tectónicos y la alteración hidrotermal que ocurre cuando aguas termales circulan sobre sedimentos o rocas. Las concentraciones de arsénico en los suelos se estima que andan en el orden de entre los 5 a los 15 mg/kg (Smedley, & Kinniburgh, 2013).

El problema de contaminación por arsénico ocurre en muchas regiones de América Central, en Costa Rica es mayor en la provincia de Guanacaste, en donde incluso los niveles urinarios bajos o moderados de arsénico se ha vinculado con albuminuria, pudiendo ser un cofactor de la NM (Correa-Rottera, Wesseling & Johnson, 2014).

El arsénico en el agua ha sido un problema común en la zona de Guanacaste, así como en algunas regiones en Sri Lanka en donde incluso ha sido propuesto como un factor etiológico de la ERCed (Wesseling, 2015). Asimismo, en El Salvador se han encontrado altos niveles de arsénico y cadmio en la orina de los pacientes afectados por la enfermedad y ha sido relacionado con muestras de agroquímicos utilizados en la agricultura, en donde se plantea la hipótesis de que la población se expone a estos por medio de los alimentos y el agua (Almaguer, Herrera & Orantes, 2014).

En un estudio realizado por la Universidad de Costa Rica a partir del año 2013 (Alvarado, s.f.) se determinó que el agua de recarga en el subsuelo se mezcla con el agua que contiene concentraciones de arsénico natural en zonas con potencial geotérmico, volcanes y fallas geológicas activas y además que el origen de este elemento en algunos pozos de Cañas y Bagaces, en Guanacaste, es de origen natural.

3.4.4. Altura

El aumento de la creatinina sérica (Bermúdez, García, Surribas, Castelao & Sanjuán, 2011) es uno de los signos base en los que se sustenta el diagnóstico de la ERC. Este hallazgo se ha encontrado por medio de uno de los métodos usados para el análisis de la frecuencia y la distribución de la ERC y sus factores de riesgo, realizado en El Salvador, en donde por medio de un estudio a 291 hombres de dos comunidades, una de baja altitud en la costa pacífica y otra a 500 m de altura, se determina una prevalencia de proteinuria de 45,7% y 12,9% respectivamente y un aumento de la creatinina sérica, además se determina que vivir cerca del mar o a una altura baja representa un factor de riesgo importante pero no se establece la asociación entre la proteinuria y el trabajo en la agricultura (Almaguer *et al.*, 2014), representando aún un vacío en el conocimiento respecto a la enfermedad.

La estimación precisa de la tasa de filtración glomerular (TFG) es importante para la detección de la ERC, la evaluación de su gravedad, ritmo de progresión y el inicio de un tratamiento adecuado (Stevens, 2011). Y es por medio de otro de los estudios realizados sobre la patología en donde se encuentra la alteración de esta tasa y su relación con la agricultura y la altura. El estudio involucra a cinco comunidades de El Salvador con diferentes altitudes, dos localizadas en la costa productoras de caña de azúcar y las restantes a alturas de 500 m y productora de caña de azúcar, una urbana a 650 m y la última a 1650 m en donde se cultiva café. Los resultados revelan que, para las zonas ubicadas en la costa, la TFG es reducida y es mayor en hombres que en mujeres, mientras que la prevalencia en las comunidades de más altura es menor, pero en todos los casos se determina que el riesgo aumenta en las productoras de caña de azúcar con altitudes bajas y por lo tanto con mayores temperaturas (Almaguer *et al.*, 2014).

De acuerdo con datos que la C.C.S.S. ha documentado sobre la ERC, el riesgo de padecer la enfermedad es el doble para personas que viven en Guanacaste a alturas menores a los 500 metros sobre el nivel de mar (Wong *et al.*, 2014).

3.4.5. Agricultura

Estudios presentan que la población en mayor riesgo son los agricultores, en donde presentan de dos a tres veces más posibilidades de desarrollar ERC comparado con individuos que nunca han trabajado en la agricultura (Laws *et al.*, 2015).

Los agroquímicos, como los fertilizantes y pesticidas utilizados principalmente en la agricultura, se componen de gran cantidad de ingredientes activos con diferentes toxicidades y estructuras químicas, éstos se pueden relacionar con la enfermedad debido a que existe una distribución geográfica que afecta principalmente a las regiones rurales agropecuarias, especialmente las asociadas a la producción de caña de azúcar (Correa-Rotter *et al.*, 2014). Según el Reglamento para el registro de plaguicidas de uso doméstico e industrial y fertilizantes de uso doméstico (2011), los plaguicidas agrícolas son útiles en la protección de cultivos, sin embargo, son productos tóxicos que pueden causar alteraciones biológicas y

generar desequilibrios en los agroecosistemas y en la salud por lo que en el país se utiliza la clasificación de plaguicidas por su peligrosidad de acuerdo con la clasificación vigente de la Organización Mundial de la Salud para productos formulados; la misma presenta cinco categorías por colores en donde, en la categoría I se encuentran los extremadamente y altamente peligrosos con el color rojo, en la categoría II, los moderadamente peligrosos con el color amarillo, en la III los ligeramente peligrosos de color azul y finalmente en la categoría IV, los productos que probablemente no representan un riesgo agudo en uso normal, pero que son tóxicos, representados de color verde. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería los agroquímicos como la ametrina es de etiqueta verde, los organofosforados son de banda roja, el aceite mineral que se usa como coadyuvante es etiqueta verde, el glifosato es etiqueta amarilla y el bromacil de banda azul.

De acuerdo con Correa-Rotter *et al.* (2014), la enfermedad generalmente se manifiesta como un aumento silencioso pero progresivo en el nivel de creatinina sérica. La relación entre los niveles de creatinina sérica y la agricultura se puede observar en un estudio realizado a dieciocho agricultores de caña de azúcar nicaragüenses, en donde la comparación de las mediciones de la creatinina sérica antes y después de la cosecha indicaron que, en promedio, aumentó para los agricultores encargados de cortar semillas, los encargados del riego, los cortadores de caña y, en menor grado, los aplicadores agroquímicos (Laws *et al.*, 2015).

La quema de biomasa consiste en quemar vegetación viva o muerta de pastizales, bosques y residuos agrícolas con el fin de limpiar las tierras para utilizarla para la agricultura o ganadería (Mielnicki, Canziani, Drummond, & Sckalany, 2005).

Esta actividad en América Latina se ha hecho presente desde siglos anteriores y responde a una actividad peligrosa y agotadora para quienes la realizan, ya que de acuerdo a un estudio realizado por Paula Santos y otros profesionales en la Facultad de Medicina de la Universidad de São Paulo, con el fin de evaluar los efectos agudos de un día típico de cosecha, se determina que, aunque al inicio de la temporada los veintiocho participantes a los que se les realizó una prueba de orina y sangre se consideraron sanos y sin signos de enfermedad renal o sistémica, al final de la cosecha todos los participantes experimentaron un aumento en el

nivel de creatinina sérica y una disminución de la TFG (Allison, 2014) que corresponden a factores de riesgo para la ERC.

En el estudio realizado por Paula Santos *et al.* (2015) se determina que, durante la quema de caña de azúcar, las condiciones de trabajo se vuelven más agresivas para los trabajadores, exponiéndose a contaminantes del aire y siendo afectados por el estrés debido al calor. En el mismo trabajo se describe que los individuos al finalizar el periodo de estudio no desarrollan ERC, pero sí presentan signos asociados a la disfunción renal aguda y se aclara que esto puede deberse a la duración de las actividades de la cosecha de la caña de azúcar y/o a que la combinación de factores genéticos, ambientales y sociales, que no son los mismos en Brasil que en Centroamérica, donde la enfermedad es más común.

Un estudio realizado por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional de Costa Rica determinó que de la concentración de contaminantes atmosféricos era significativamente mayor durante las quemas diurnas de los cultivos que en las nocturnas y se obtuvo que la fracción PM_{2,5} representó alrededor del 82% de las PM₁₀, en donde esta fracción de partículas está asociada a la combustión de biomasa (Briceño, Herrera, Solórzano, Rojas, Beita, & Chinchilla, 2015).

La caña de azúcar es un cultivo que demanda de condiciones muy específicas para su correcto crecimiento y producción. De acuerdo con el Flores (2007), los requerimientos de este cultivo son: elevadas temperaturas durante su crecimiento y bajas durante la maduración, de manera que entre mayor sea la diferencia, mayor posibilidad de obtener un mayor rendimiento; en cuanto a la precipitación, es necesaria una estación lluviosa extensa y distribuida, siendo la precipitación anual conveniente de 1500 mm; en cuanto a la altura, esta juega un papel importante en la velocidad de su crecimiento ya que en zonas altas, a pesar de que su contenido de sacarosa es más elevado, el tiempo que demora en crecer también es mayor; finalmente, los suelos ideales para la siembra son aquellos que son arcillosos, bien drenados, profundos, altos en materia orgánica y con un pH entre 5 y 6,5.

Las etapas del cultivo de la caña de azúcar se muestran en la Figura 4. El Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (2015) lo describe de la siguiente forma:

En cuanto a la germinación se conoce que inicia entre los 7 y 10 días después sembrada y continúa creciendo hasta los 35 días si se cuenta con temperaturas óptimas entre los 24 y los 37°C. El macollamiento se produce de los 35 a los 40 días después de la plantación y se caracteriza por el brote de varios tallos, se ve beneficiado por una alta intensidad luminosa, una temperatura aproximada de 30°C, humedad en el suelo y un nivel adecuado de nitrógeno. Posteriormente, el rápido crecimiento necesita de temperaturas de 30°C e inicia a los 120 días después de plantada y a partir de los 180 días únicamente sobreviven entre el 40 y el 50% de los retoños. La maduración es la penúltima etapa, la cual tiene una duración de 2 a 3 meses y se da la acumulación de sacarosa en los tallos de la caña. Finalmente, de once a dieciséis meses después, en la cosecha se realiza la zafra o recolección en donde se acostumbra a realizar la quema para eliminar las malezas que impiden el corte y las posibles plagas.

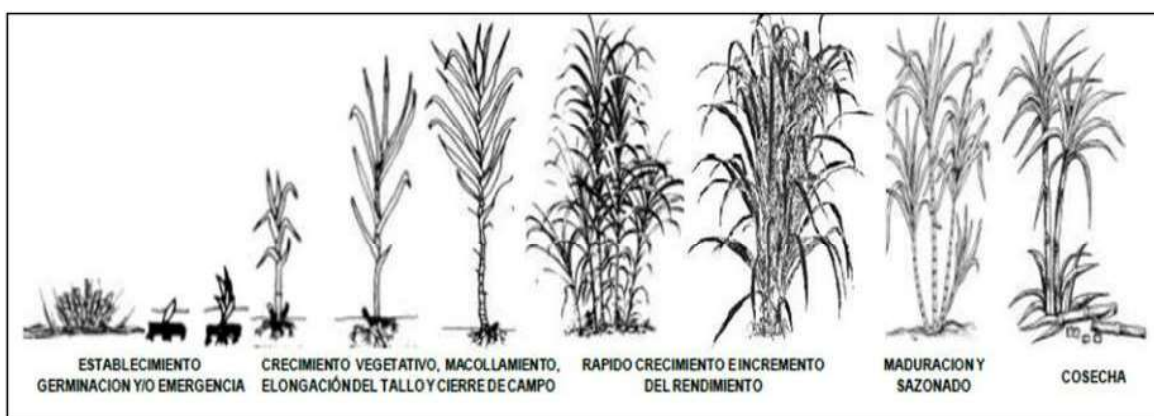


Figura 4. Etapas del cultivo de la caña de azúcar. Tomado de Aguilar (2011).

3.4.6. Viento

El viento se puede definir como el movimiento del aire relativo a la tierra que puede presentar velocidades variadas, que pueden ir en orientaciones verticales u horizontales y que es principalmente causado por las diferencias de presión en la atmósfera que a su vez se producen porque la radiación solar no presenta la misma magnitud en todas las partes de la superficie terrestre, estas diferencias de presión ocasionan que el aire se desplace desde las

zonas de alta presión hacia las zonas de baja presión generando los sistemas de circulación de viento en la atmósfera (Cordero & Barahona, 2015).

La magnitud del viento sobre la vertiente del Pacífico de Costa Rica por lo general es más fuerte durante el invierno con dirección predominante del este y en verano disminuye (Lizano & Alfaro, 2014). De acuerdo con Cordero & Barahona (2015), las velocidades del viento obtenidas en la provincia de Guanacaste para un período de retorno de 50 años pueden llegar hasta los 110 km/h, indicando que es probable que ésta sea excedida en promedio solo una vez cada 50 años. El viento tiene la capacidad de transportar partículas de polvo tan pequeñas que pueden tener hasta 0,01 micrómetros. El 90% de éstas corresponden a las generadas de forma natural por medio de erupciones volcánicas, incendios forestales y aerosoles marinos, mientras que el 10% lo constituyen causas humanas y son las de mayor importancia en la salud humana (Taylor, 2015).

De acuerdo con Kim, Lee, Woo & Bae (2015), cuanto mayor sea la distancia desde la fuente de emisión de las partículas contaminantes, mayor será el efecto de las condiciones meteorológicas como la dirección y la velocidad del viento y la altura de la capa de mezcla.

Un fenómeno anual relacionado con el transporte de partículas por el viento es el caso de la distribución del polvo del Sahara, el cual es desplazado a lo largo de miles de kilómetros desde el desierto sahariano luego de que es levantado por los fuertes vientos generados por sistemas de alta presión y llegando a distintos puntos de Suramérica, Europa y Centroamérica, incluyendo Costa Rica (Recio, 2017). La diferencia entre una tormenta de polvo y una de arena es el tamaño de las partículas, en la primera el polvo sube alturas entre los 5 km y 7 km formando una masa de aire de altas temperaturas con una humedad relativa de apenas un 3% según la OMS (Arce, 2016). Dicho polvo contiene componentes biológicos como bacterias, hongos, estafilococos, virus, materia fecal, ácaros, detritos, polen, elementos y compuestos minerales dentro de los que se pueden mencionar metales pesados como el mercurio, contaminantes orgánicos persistentes como insecticidas, pesticidas, herbicidas y PM10, PM2.5 y superfinas (López, González, Vega & Santos, 2015). A pesar de que este fenómeno no ha sido relacionado directamente en investigaciones, es importante destacar que la distribución de este coincide con algunas de las zonas en las que se presenta la ERCed,

tanto en Mesoamérica como en las zonas de África y de acuerdo con Cruz (2015), África es una de las regiones en las que las tormentas de polvo ocurren con mayor actividad debido a sus características geológicas y ambientales y sus partículas son dispersadas por acción del viento.

La quema de biomasa es responsable de la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero, precursores del ozono y material particulado y en su distribución influyen factores como su naturaleza (particulado, gaseoso, inerte o reactivo), el tamaño de las partículas, la concentración en la fuente de emisión, el ritmo de la emisión y las condiciones meteorológicas como la dirección y velocidad del viento, la humedad del aire y la precipitación (Prado *et al.*, 2012).

3.4.7. Condiciones ocupacionales y sociales

De acuerdo con Lozier *et al.* (2016), las condiciones ocupacionales de los agricultores podrían influir en el desarrollo de la Nefropatía Mesoamericana, factores como la industria o sector en el que trabaja, los deberes laborales, la duración de estos, la carga de trabajo, el estrés térmico, la deshidratación, la exposición a plaguicidas, metales, agentes infecciosos y el uso de medicamentos nefrotóxicos, es decir, aquellos medicamentos que pueden causar algún daño a los riñones.

Roncal-Jiménez *et al.* (2016), propone la hipótesis de que la NM en los agricultores de caña de azúcar puede deberse al esfuerzo físico al que están expuestos y al estrés térmico asociado con el aumento del ácido úrico en la sangre que a su vez es inducido por la deshidratación y la uricosuria cíclica, que es un trastorno del ácido úrico en el que sus concentraciones exceden la solubilidad formando cristales de dihidrato de urato y produciendo lesiones locales en los túbulos renales. También plantea que lo anterior es debido a que el ácido úrico es generado por el cuerpo durante el estrés por calor, ya que disminuye la cantidad de agua y produce una mayor concentración urinaria y acidificación debido a la liberación de nucleótidos de los músculos.

Otro de los factores sociales que es mencionado por varios autores es el consumo de alcohol, sin embargo, Wong *et al.* (2014) reporta que, para el caso de Costa Rica, no se evidenció asociación significativa en el estudio con la presencia de ERC al contrario de lo ocurrido en Nicaragua en donde se reporta que si se presenta asociación pero que puede deberse al tipo de alcohol que se consume en donde en nuestro país la mayor parte es procesado.

3.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los sistemas de información geográfica (SIG) son un conjunto de herramientas que permiten obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales en donde se puede establecer conexiones y realizar análisis entre diversos fenómenos en lugares específicos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014), éstos abarcan métodos, medios como software y hardware, bases de datos espaciales, organización, recursos financieros y personas interesadas en su funcionamiento (Gajos & Sierka, 2012).

Los SIG en las ciencias ambientales contribuyen al tipo de información que manipulan y a la perspectiva de la realidad que proporcionan ya que ayudan a coordinar grupos multidisciplinarios para la toma de decisiones (Quiroz, 2010) e incluso presentan una especificación que se denomina geoinformación y consiste en el manejo de información adquirida a través de la interpretación de datos geoespaciales por medio de distintos métodos o técnicas tales como la cartografía, la teledetección y los sistemas de posicionamiento global conocidos como GPS por sus siglas en inglés (Gajos & Sierka, 2012). En adición a lo anterior, las técnicas de SIG pueden ser aplicadas al análisis de la distribución espacial y temporal de contaminantes (Kumar, Gupta, Brandt, Kumar, Dikshit & Patil, 2016).

En el caso de los estudios relacionados con la salud humana, la utilización de SIG resulta indispensable ya que podría permitir que se tomen medidas de mitigación para evitar una mayor propagación de la enfermedad y la descripción del escenario por medio de la realización de mapas de las condiciones adyacentes al lugar en donde se presenta (Bunnell, Karlsen, Finkelman, & Shields, 2013).

3.6. MODELACIÓN COMPUTACIONAL

La simulación y la modelación computacional es un área que ha crecido y surge como una herramienta para el diseño en donde se combinan distintas ciencias e ingenierías con el fin de analizar y controlar sistemas dinámicos, y pueden ser vistos como un proceso iterativo que consiste en la construcción sucesiva de modelos matemáticos y pasos de simulación asistidos por computadora (Moller, 2012).

Por otro lado, la visualización se puede definir como la transformación de una cantidad de datos no visuales o abstractos a una representación visual utilizando interfaces gráficas interactivas que contribuya a la resolución de problemas (Manovich, 2010).

Los modelos computacionales han sido utilizados en el área de las ciencias ambientales con el propósito de estimar y predecir la calidad del aire y determinar la presencia o distribución de partículas o químicos en el ambiente (Rostami, 2016).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha expresado la importancia de evaluar la calidad del aire y distribución de contaminantes por medio de modelos computacionales, refiriéndose a ellos como herramientas predictivas y de propósitos educativos (Rostami, 2016).

3.7. PAPEL DEL INGENIERO AMBIENTAL

De acuerdo con Gajos & Sierka (2012) los SIG en el área de la protección del ambiente son de gran importancia y se pueden enfocar en distintos campos como lo son el aire, el análisis de la contaminación del agua y el suelo y también la identificación de escalas de daño de desastres naturales y antropogénicos.

Según el perfil profesional del ingeniero ambiental propuesto por la Asociación Costarricense de Ingenieros Ambientales (ACIAM) (2016), en el área de la salud pública un ingeniero ambiental posee la competencia de evaluar los riesgos toxicológicos a la salud

humana y al medio ambiente debido a la exposición a sustancias tóxicas, en donde por medio de la modelación de datos pueda describir el sitio expuesto a la emisión y los factores relacionados con la movilización de dichas sustancias y que, unido al área de SIG, pueda elaborar mapas para la ubicación y representación de información geográfica.

El aporte de este trabajo, en línea con lo anteriormente descrito, es servir de base para posteriores proyectos relacionados y contribuir en la identificación del escenario de exposición al que la población con una mayor tasa de NM se encuentra inmersa.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron los cantones de Cañas y Esparza, mostrados en la Figura 5, con el fin de determinar los factores ambientales y geográficos a los que se encuentran expuestos, esto debido a que corresponden a los alta y baja prevalencia de la ERC (Quirós, 2015). El Guarco al ser el cantón blanco, de acuerdo con estudios previos, no se analizará en este proyecto.

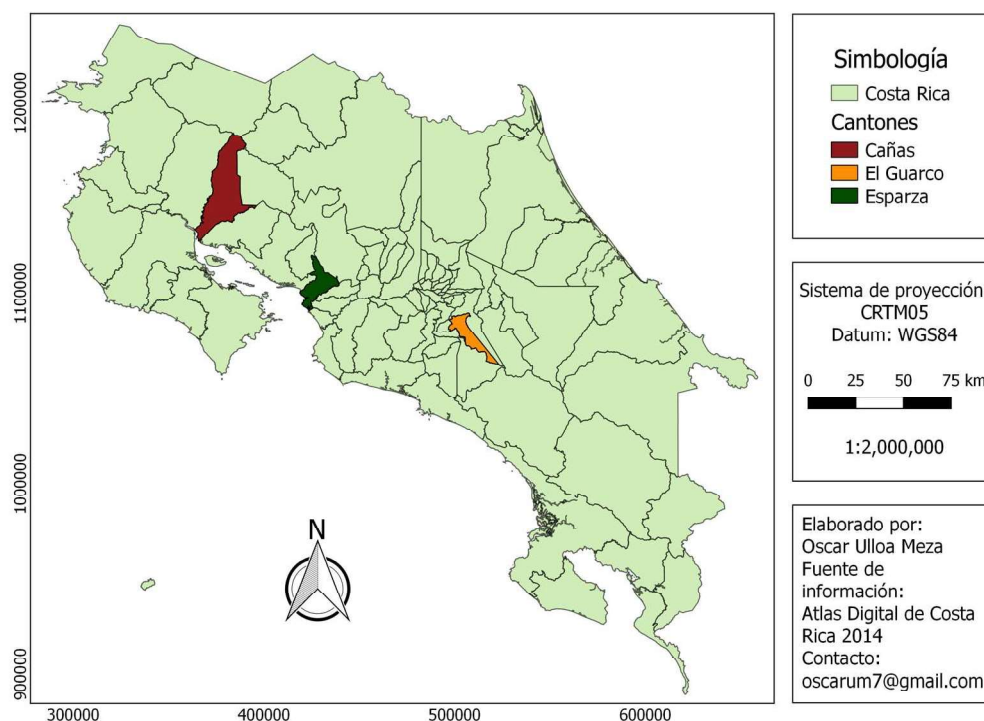


Figura 5. Cantones seleccionados para el análisis de factores ambientales y geográficos.

4.1. ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

Se elaboraron mapas para poder comparar visualmente la zona Cañas con la de Esparza y determinar las diferencias y similitudes de ambos lugares. Esto se realizó por medio de la utilización del programa con software libre QGIS versión 2.18.14., utilizando las herramientas integradas que se detallan en el Cuadro 2. Funciones de algunas herramientas de QGIS. para poder realizar las diferentes operaciones del procesamiento de los datos recopilados.

Cuadro 2. Funciones de algunas herramientas de QGIS.

Herramienta	Función
Añadir capa vectorial	Permite agregar un tema vectorial al proyecto. Se utilizó para agregar las diferentes capas utilizadas y posteriormente poder trabajarlas y superponerlas.
Añadir objeto espacial	Permite dibujar objetos espaciales. Se utilizó para agregar puntos a una capa.
Cortar	Permite cortar capas de líneas con capas de polígonos.
Unión	Realiza una unión cartográfica de capas vectoriales.
Reproyectar capa	Cambiar el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRCs) de una capa por otro que se desee. Se utilizó para pasar datos de WGS84 a CRTM05 y viceversa.
Quick Map Services	Permite agregar imágenes satelitales de diferentes proveedores para ser utilizadas como mapa base.

4.2. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Mediante la revisión de literatura especializada y científica se logró determinar una caracterización de los factores ambientales y geográficos de ambas zonas de estudio para proceder a delimitar una región más pequeña y seleccionar un distrito en el cual se realicen posteriores investigaciones y estudios. Esto debido a que, a pesar de existir información de

la situación actual, el presente proyecto continúa siendo preliminar en cuanto a los factores ambientales y geográficos relacionados con la NM.

Además, se consultó a especialistas en los distintos temas tratados, esto debido a que, al ser un tema multifactorial en diversos tópicos, el conocimiento que aportó cada uno de ellos resultó ser muy significativo y necesario para la comprensión de la información. Aunado a lo anterior, se realizaron giras de campo para la recolección de datos y reconocimiento del sitio.

Toda esta situación permitió recurrir a la búsqueda de más información sobre los puntos que se detallan a continuación con la finalidad de comprender tanto las condiciones en dichos cantones como los factores ambientales y geográficos que se analizaron.

4.2.1. Tasa de la enfermedad

Por medio de una visita al CAIS de Cañas, se procedió a una reunión con la Dra. Patricia Montero Chacón, médica de familia que ha trabajado el tema de ERC y NM en esa institución. Por medio de una charla brindada se obtuvo el número de casos de enfermos renales crónicos en el año 2017 en dos de los lugares con mayor incidencia en ese cantón, los cuales se pasaron a una tasa de prevalencia por cada 100 000 habitantes por medio de la Ecuación 1. Se tomaron estos dos valores como tasa de prevalencia de la NM a pesar de que, de acuerdo con Patricia Montero (2018), se requiere de una biopsia a los pacientes para confirmar la presencia de la patología pero que debido a las condiciones anatómicas de los riñones de los pacientes no se les puede realizar.

$$Tasa\ de\ prevalencia = \frac{Casos\ de\ enfermos}{Población\ total} \times 100\ 000$$

Ecuación 1

Debido a que los registros de la CCSS no cuentan con una separación de los casos de ERC de etiología conocida y los de NM, se utilizó además los datos de egresos hospitalarios

por ERC registrados por cantón entre el 2007 y el 2014 para representarlos por medio de un mapa y analizarlo junto a las demás variables, aunque dicha situación implique que puedan repetirse los pacientes por ser solamente el número de egresos. Sin embargo, con la finalidad de tener un panorama más claro y cercano a lo que ocurre actualmente se decidió utilizarlos.

En cuanto al número de habitantes para el cálculo de la tasa de prevalencia, estos se extraen a partir de los documentos elaborados por el INEC del X Censo Nacional de Población y IV de Vivienda (2012) y en las predicciones realizadas para los años en los que no se realizó un censo.

4.2.2. Cultivo de la caña de azúcar

La determinación de las condiciones bajo las cuales se debe cultivar la caña de azúcar para que su crecimiento sea el óptimo y considerado adecuado para ser procesada o distribuida, se tomaron a partir de un documento elaborado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en donde se detallan los factores necesarios para el cultivo. Además, por medio de una consulta a especialistas del Ministerio de Agricultura y Ganadería se determinó el periodo en el que se da la etapa de quema de la caña de azúcar durante la zafra en Costa Rica permitiendo de esta forma trabajar dicha información junto a la dinámica de los vientos en las zonas.

Al mismo tiempo, se tuvo acceso al Atlas Estadístico Agropecuario (INEC, 2014), elaborado a partir del VI Censo Agropecuario. Con este documento se obtuvieron mapas de las hectáreas de caña de azúcar sembradas por cantón. Adicionalmente, a partir del informe “*¿Cómo se distribuye y dónde se cultiva territorialmente la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica*” elaborado por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA) (Chávez & Chavarría, 2012) se tomó el número de hectáreas de caña de azúcar cultivadas en los diferentes cantones del país. Dicho registro resultó ser el más actualizado a la fecha con datos exactos de hectáreas cultivadas, por lo que la información allí proporcionada será la utilizada para el análisis de la situación de los cantones bajo estudio.

Las hectáreas de caña de azúcar quemadas fueron obtenidas de registros del Departamento de Producción Sostenible de la Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria

del MAG y se encuentran separadas por cantón, sin embargo, debido a que no se contó con información más reciente a la del año 2014, es la que se utilizó para el análisis. Estos datos fueron tasados por cada 10 000 hectáreas de terreno de acuerdo con la Ecuación 2 y utilizando los valores de hectáreas de caña de azúcar cultivada.

$$Tasa\ hectáreas\ de\ caña\ quemada = \frac{hectáreas\ de\ caña\ quemadas}{hectáreas\ de\ caña\ de\ azúcar} \times 100\ 000$$

Ecuación 2

4.2.3. Geología y topografía de los suelos

A partir de una serie de boletines técnicos sobre los suelos de Costa Rica, elaborados por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología (INTA), se determinaron los dos tipos predominantes de los suelos en los cantones seleccionados y el origen de cada uno de ellos.

Las herramientas digitales actuales permitieron que se pudiera acceder a mapas con el relieve de los terrenos montañosos, por medio de SIG se realizaron distintos mapas con los que se pudiera visualizar de manera gráfica los datos para la identificación de semejanzas y diferencias en la topología. Para la obtención de las curvas de nivel de los cantones de Cañas y Esparza se recurrió a solicitarlas en el Instituto Geográfico Nacional, perteneciente al Registro Nacional. Otra forma con la que se obtuvo datos de alturas fue por medio de la utilización del altímetro integrado al GPS, por lo que en las visitas realizadas a los lugares se tomaron diversos puntos de importancia con la altura y que posteriormente se utilizaron para su representación por medio de mapas.

Debido al difícil acceso a la información relacionada con las fallas geológicas presentes en la zona de Cañas, no se pudo tener acceso a una base de datos ni capa actualizada de las mismas, sin embargo, se utilizó con fines de este proyecto la capa en formato shape, para utilizarlo con herramientas SIG, de las fallas geológicas del Atlas de Costa Rica elaborado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en el año 2014 y un mapa elaborado

por la Red Sismológica Nacional. Adicional a lo anterior, se solicitó al Instituto Geográfico Nacional (IGN) todas las hojas cartográficas, en físico, que comprendieran los cantones de Cañas y Esparza con la finalidad de marcar las fallas geológicas, posterior a esto se realizó una visita de campo de reconocimiento a los lugares en donde se encontraban dichas fallas y se procedió a tomar puntos con un GPS tanto para localizarlas por medio de mapas como para determinar puntos con alturas. Esta visita de campo se realizó en conjunto con el Ingeniero Melvin Alpízar Marín, quien labora en el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) y anteriormente realizó estudios de muestreos de suelos con presencia de arsénico, el objetivo fue elaborar un mapa con posibles puntos de muestreo de suelo para el análisis futuro de su composición.

Asimismo, se generó un mapa con lugares en donde Acueductos y Alcantarillados (AyA) realizó muestreos de agua dando como resultado positivo a la presencia de arsénico en algún momento, sin considerar si ya fue removido, esto para ver la relación espacial del cantón de alta incidencia con lugares en donde se ha identificado la presencia de arsénico.

4.2.4. Polvo del Sahara

Para el caso del polvo proveniente de las tormentas del Sahara, se recurrió a la consulta a expertos que han trabajado en el análisis de su composición y la dispersión de las partículas. Se contactó a la dra. María Martínez Cruz del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSI-CORI) para solicitar la información sobre el tema y, además a Jeff Briceño Castillo del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional de Costa Rica para consultar sobre las pruebas de laboratorio que se han realizado y los resultados que se han encontrado. El objetivo fue determinar si los componentes del polvo del Sahara han sido asociados con la ERC y si estos podrían ser transportados por el viento hacia la población que presenta mayor incidencia de la enfermedad.

4.2.5. Temperatura, humedad y precipitación

Para el análisis de la temperatura, la humedad y la precipitación se elaboraron mapas individuales a nivel país con los que se pudo realizar una comparación sobre las condiciones en los distintos cantones y de esta forma determinar similitudes y diferencias. Los datos fueron tomados del Atlas Meteorológico del IMN.

Se realizó además una investigación bibliográfica para la búsqueda de información y ejemplificación de la diferencia entre calentamiento global y variabilidad ambiental, además de la identificación de los principales fenómenos que afectan las zonas de estudio. Se seleccionaron los dos efectos más importantes que afectan nuestro país, El Niño y La Niña para comprender la variabilidad ambiental, para esto se accedió al Oceanic Niño Index (ONI), el cual es un indicador primario de monitoreo de dichos fenómenos.

4.3. MODELOS DE VIENTO

El viento es una variable física que debe incluirse dentro de los escenarios de exposición, esto ya que cumple con la función de transporte y dispersión de partículas. Debido a la relevancia con algunos factores geográficos y ambientales se procedió a la elaboración de modelos que permitieran visualizar tanto la dirección como la velocidad del viento para así poder analizar los posibles efectos que tendría en las poblaciones seleccionadas.

Se coordinó una reunión con físicos atmosféricos con la finalidad de conocer sobre la dinámica del viento y los procesos que ocurren en relación con el transporte de partículas.

Para la obtención del modelo computacional de la dirección y velocidad del viento se recurrió al Instituto Meteorológico Nacional (IMN), el cual cuenta con el hardware y software necesario para su elaboración. Además, se procedió a coordinar reuniones con Werner Stolz España, jefe del Departamento de Meteorología, Sinóptica y Aeronáutica del IMN para aclarar conceptos y conocer sobre el proceso de modelación de viento y de interpretación de los modelos desarrollados.

Se utilizó el modelo Weather Research & Forecasting System (WRF), el cual consiste en un sistema de predicción numérica del tiempo de mesoescala, utilizado ampliamente para la investigación atmosférica y las aplicaciones de pronóstico operacional ya que cuenta con dos núcleos dinámicos, un sistema de asimilación de datos y un software que permite la extensibilidad del sistema (NCAR, 2018). Las especificaciones técnicas del modelo se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Especificaciones técnicas del modelo WRF.

Parámetro	Especificación
Resolución horizontal	60x60, 20x20, 6.7x6.7
Niveles en la vertical	48
Tipo de pronóstico	120 h
Nivel atmosférico	925 hPa
Microfísica	WRF Single-Moment 3-class simple ice scheme (WSM3)
Radiación de onda larga	Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)
Radiación de onda corta	Dudhia scheme
Capalimite Planetaria	Yonsei University (YSU)
Cumulus	Grell-Devenyi ensemble

Fuente: (IMN, 2018)

Además del modelo anteriormente descrito, se utilizó uno norteamericano de reanálisis que por sus siglas es en inglés es NAAR, el cual a su vez utiliza el modelo de alta resolución de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental. La ventaja de este modelo recae en la facilidad de su uso y se puede acceder a él por medio de la página de la Administración

Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de forma gratuita. Las especificaciones técnicas utilizadas por este modelo se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Especificaciones técnicas del modelo NAAR.

Parámetro	Especificación
Nivel	1000 mb
Latitud menor	8.2
Latitud mayor	11.2
Longitud más occidental	273
Longitud más oriental	279
Proyección	Cylindrical Equidistant
Número de niveles de presión atmosférica	29
Resolución	349x277

Fuente: (NOAA, 2018)

Para la generación de un análisis más asertivo y amplio, se analizó parte de la información registrada en las estaciones meteorológicas del IMN presentadas en el Cuadro 5. Se buscó que las estaciones estuvieran lo más cercanas posibles a los cantones de Cañas y Esparza para poder contar un análisis lo más real a la situación actual. A partir de esta información se realizaron gráficos que permitan visualizar la información y comparar las condiciones ambientales de las zonas de estudio.

Cuadro 5. Datos climatológicos solicitados de las estaciones meteorológicas del IMN.

Código de la estación climatológica	Ubicación	Elementos climatológicos	Periodo de solicitud de la información
76 005	La Pacífica, Cañas, Guanacaste	Lluvia, temperatura máxima y humedad	Desde 01/01/1970 hasta 31/12/1995
76 055	Hacienda Mojica, Guanacaste	Lluvia, temperatura, humedad y velocidad del viento	Desde 01/01/1999 hasta 31/12/2017
80 013	San Miguelito de Barranca, Puntarenas	Lluvia, temperatura y humedad	Desde 20/08/2014 hasta 26/11/2017

4.4. DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO DE EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN

Al constituir el cantón de Cañas el lugar donde la tasa de incidencia de la enfermedad es mayor, se realizará un análisis del escenario de exposición a los que se encuentra la población en este lugar, comprendiendo las características físicas del sitio y la descripción de la población.

4.4.1. Descripción de las características físicas del sitio

Los mapas de las diferentes condiciones climatológicas y del suelo, así como los modelos de la dirección y velocidad del viento son comprendidos dentro de la descripción de las características físicas a las que se ve afectada la población, por lo que en esta sección se describieron las condiciones observadas en las visitas de campo por medio de un registro fotográfico.

4.4.2. Descripción de la población

Para describir a la población se utilizaron indicadores cantonales y distritales elaborados por el INEC y el documento “X Censo Nacional de Población y IV de Vivienda 2011: Características sociales y demográficas” de la misma institución, esto con el fin de brindar un panorama de las condiciones socioeconómicas del cantón.

Además, por medio de la base de datos de datos de las escuelas reportadas, tanto a nivel público por el Ministerio de Educación Pública (MEP) como privado, se procedió a realizar llamadas telefónicas para determinar la dirección de las escuelas localizadas en el cantón de Cañas y de manera preliminar la existencia de casos de enfermos renales en las cercanías de las escuelas. Posteriormente, con la información obtenida se realizó una gira de campo para localizarlas por medio de la utilización de un GPS Garmin MAP64s con una incertidumbre de ± 10 m y a su vez tomar la altura de cada uno de los puntos tomados con el altímetro integrado con el que cuenta el dispositivo. Luego, se realizó un mapa con la información obtenida, esto es importante para la ubicación de los niños en riesgo de presentar NM y posibles estudios posteriores

4.4.3. Modelo matemático para las variables

Posterior al análisis y discusión de las variables seleccionadas, se procedió a la elaboración de un modelo matemático realizando una “regresión de los mejores subconjuntos”, con el software estadístico Minitab en su versión 17.1. Este tipo de regresión brinda información sobre el ajuste de varios modelos distintos y es utilizado cuando se usan diferentes variables para determinar cuáles pueden ser utilizadas para la obtención de la ecuación que modele los factores.

Para la realización de este modelo se tomaron en cuenta únicamente los once cantones de la provincia de Guanacaste, debido a que en la tesis de Quirós (2015) se determinó que la tasa de la enfermedad es mayor en esta provincia. Los factores considerados a nivel de cada cantón fueron la altura del lugar de cabecera, las hectáreas de caña de azúcar cultivadas, las hectáreas de caña de azúcar quemadas, la presencia de arsénico en el agua en algún momento,

la velocidad del viento en un día específico del mes de febrero que concuerde con el del peor escenario posible, el Índice de Desarrollo Social (IDS) cantonal y la presencia o ausencia del suelo de tipo andisol en la zona.

La finalidad de este modelo es determinar la correlación de las variables seleccionadas que no fueron consideradas en el modelo de Quirós (2015) y si con él hay un buen grado de predicción al utilizarse. A la vez, con el mismo se podría establecer si alguno de los factores que pueden ser modificados varía la tasa de la enfermedad y así poder brindar posibles recomendaciones.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ANÁLISIS DE LOS MAPAS

A partir de una visita de campo al cantón de Grecia, en Alajuela, se determinó la posibilidad de analizar la situación en cuanto a algunos factores ambientales en este sitio debido a la gran cantidad de caña de azúcar sembrada observada, la visita de campo reveló que la población en la zona se encontraba rodeada por cañales y sus actividades diarias se realizaban alrededor de estos. Es por esta razón que, además de los dos cantones bajo estudio, se describirán algunas condiciones con respecto a varios de los factores para Grecia, a pesar de que estadísticamente en estudios previos (Quirós, 2015) no haya resultado un área significativa relacionada con las tasas de la enfermedad, con el fin de comprobar las características que la diferencian de Cañas y Esparza.

5.1.1. Tasa de la enfermedad

La tasa de enfermos por ERC en Costa Rica se observa en la Figura 6. Distribución espacial de la tasa de ERC por cada 100 000 habitantes en Costa Rica entre 2007 y 2014., en donde espacialmente se puede observar la distribución por medio de una serie de categorías que van de 0 a 18 casos por cada 100 000 habitantes.

Es evidente que la mayor tasa la posee el cantón de Cañas, seguido por otros cantones principalmente de la misma provincia, Guanacaste. A pesar de que no es posible determinar, por medio de dicha figura, la distribución específica en los distintos distritos del cantón, si permite ubicar a Cañas como el que mayor tasa presenta, evidenciando la importancia que este proyecto podría significar. La necesidad de identificar las variables ambientales y geográficas que afectan a dicha población recae en la comprensión de su situación, para elaborar posteriores investigaciones y planes de acción para contrarrestar los efectos que tengan sobre la salud.

El cantón de Esparza, al contrario de Cañas, presenta una de las tasas más bajas de la enfermedad que va de cero a un caso por cada 100 000 habitantes, representando el escenario

opuesto. En el cantón de Grecia, la tasa corresponde a un valor entre 2 y 4, implicando que presenta más casos que Esparza, pero no tantos como Cañas.

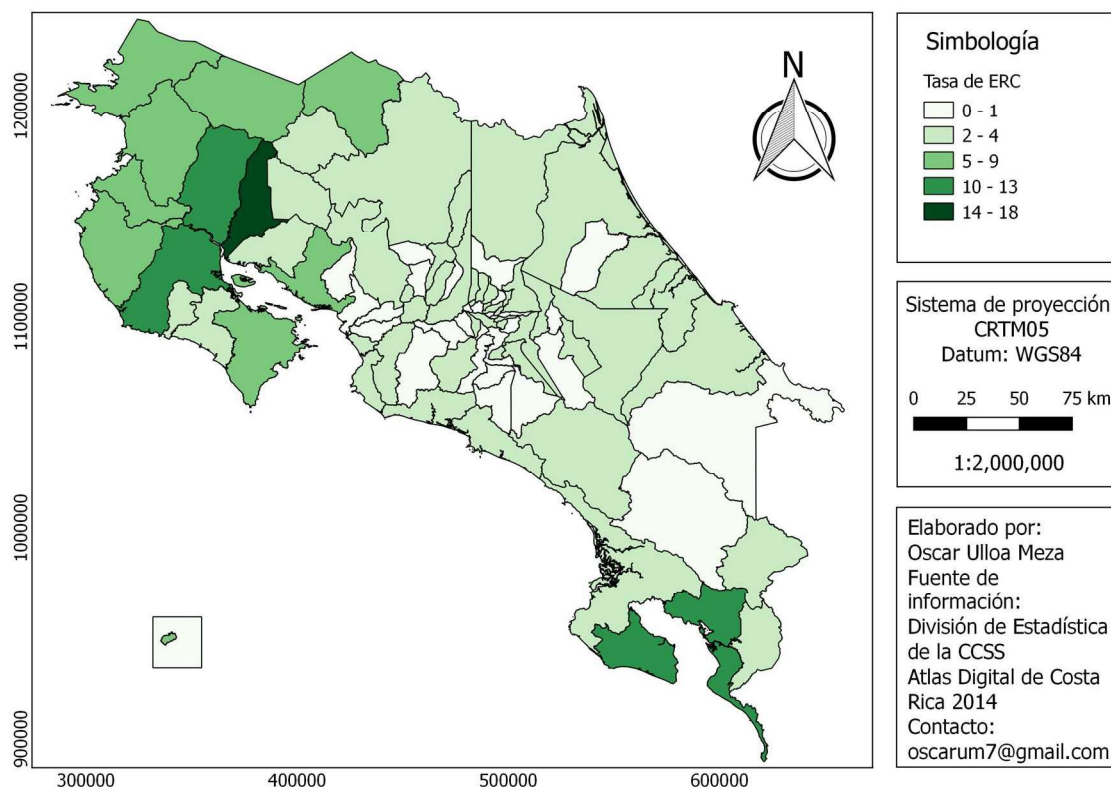


Figura 6. Distribución espacial de la tasa de ERC por cada 100 000 habitantes en Costa Rica entre 2007 y 2014.
Fuente de los datos: Quirós (2015).

Los pacientes que presentan ERC requieren de una biopsia para poder ser diagnosticados con NM (Montero-Chacón, 2018). Sin embargo, al momento en que estos asisten para ser tratados o diagnosticados, ya la enfermedad se encuentra en un estado avanzado, por lo que el tamaño de los riñones impide realizarla. A pesar de la situación descrita, algunos de estos pacientes no cuentan con las causas que se le atribuyen a la ERCec, es debido a esto que para este proyecto se consideran como pacientes con NM. De acuerdo con los registros del CAIS de Cañas, sobre número de casos de pacientes que se encuentran en esta situación, se calculó la tasa por cada 100 000 habitantes mostrada en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Tasa de incidencia de NM por cada 100 000 habitantes en dos distritos de Cañas durante el 2017.

Lugar	Tasa
Bebedero	4327
San Miguel	1151

Los dos lugares del distrito de Cañas que presentan una mayor tasa de NM son Bebedero y San Miguel, esto permite delimitar la zona de estudio del cantón de Cañas al distrito de Bebedero para así poder describir y analizar las condiciones ambientales y geográficas de esta población.

5.1.2. Agricultura

La cantidad de fincas dedicadas exclusivamente a la agricultura en el país se muestra en la Figura 7, en donde se logra apreciar que en el cantón de Cañas se encuentran de 50 a menos de 300 terrenos dedicados a la agricultura y lo mismo ocurre Esparza. A pesar de lo anterior, no se puede deducir que la cantidad de hectáreas en ambos casos es la misma y tampoco los tipos de cultivos. Esto indica que, a pesar de que los cantones estudiados tienen un importante

número de fincas para la agricultura, en el país hay regiones en las cuales el cultivo de alguna especie agrícola es mayor.

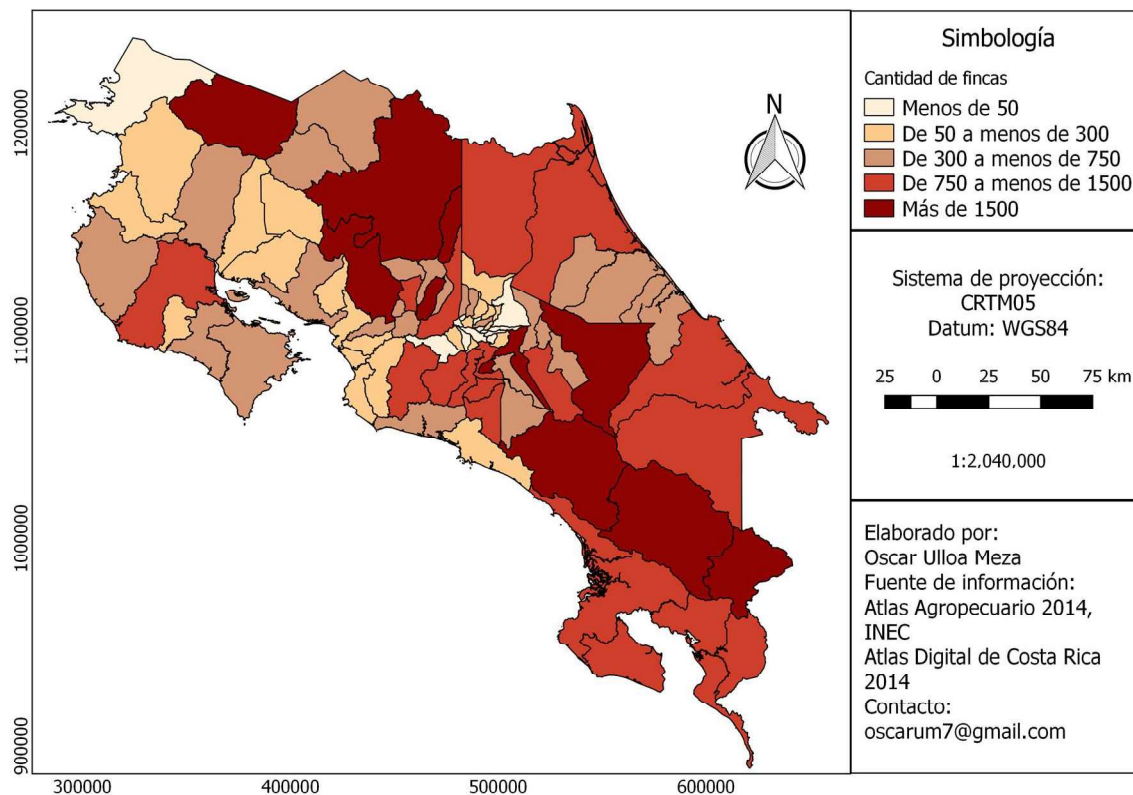


Figura 7. Distribución de la cantidad de fincas con actividad principal agrícola por cantón. Fuente de los datos INEC (2014).

La cantidad de hectáreas dedicadas a la siembra de caña de azúcar en Costa Rica asciende a las 65 000 y se extienden a lo largo del territorio (INEC, 2014). Debido a que es necesario conocer la cantidad de hectáreas de caña de azúcar cultivadas, se obtiene por medio de la Figura 8 que son únicamente seis los cantones con más de 5000 hectáreas con dicho cultivo. Al realizar la comparación entre Cañas y Esparza, se aprecia que el primero es uno de los seis cantones mencionados anteriormente mientras que el segundo presenta una extensión de caña cultivada entre el rango de 25 a 350 hectáreas, representando de esta forma una diferencia considerable en cuanto a este parámetro.

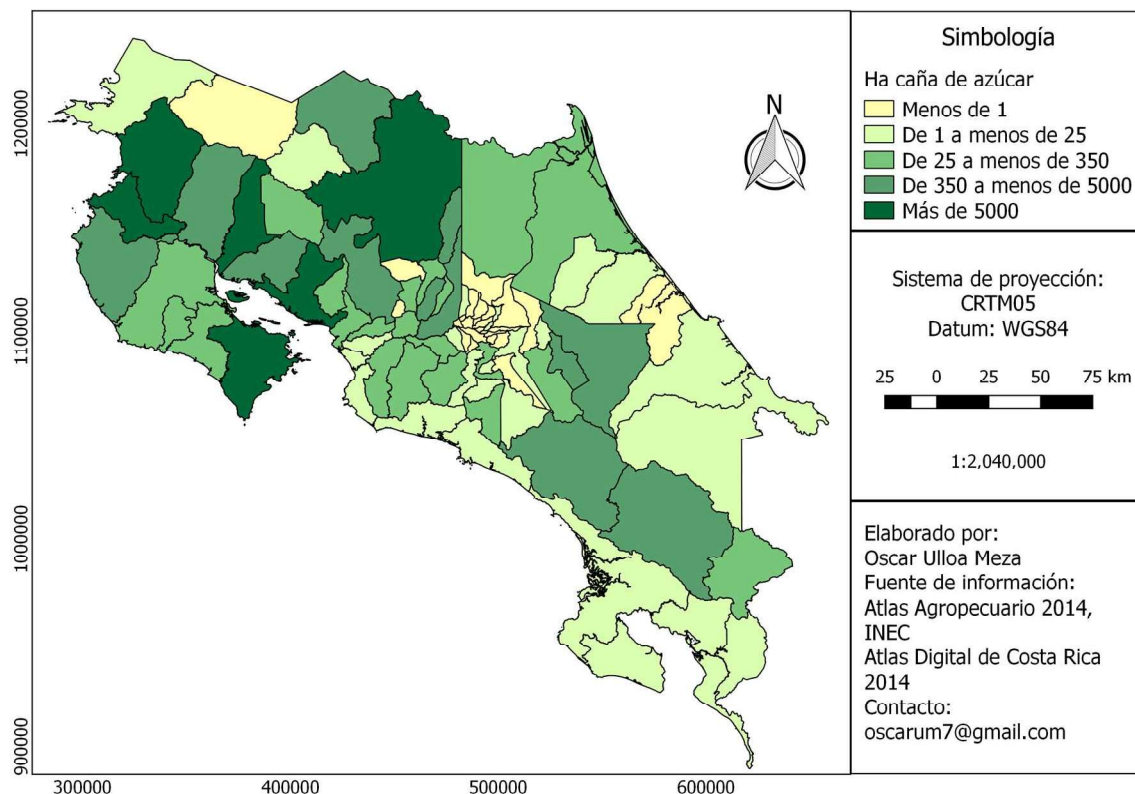


Figura 8. Distribución de la extensión sembrada en hectáreas de caña de azúcar por cantón. Tomado de INEC (2014).

Además, a nivel general en el país se utiliza en mayor proporción el fertilizante de tipo químico para el cultivo de caña de azúcar, en donde de las más de 65 000 hectáreas dedicadas a este cultivo, en 39 825 hectáreas lo usan, representando así más de la mitad. Dicha información se muestra en la Figura 9, donde se evidencia además que después de la preferencia de fertilizante químico se encuentra una mezcla entre fertilizante químico y orgánico en 23 125 ha de terreno.

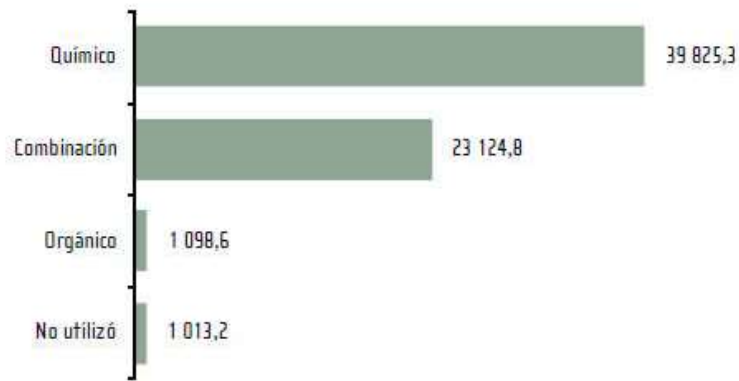


Figura 9. Extensión sembrada de caña de azúcar en hectáreas por tipo de fertilizante. Tomado de INEC (2014).

Dentro de las hectáreas en las que se utilizan fertilizantes y plaguicidas químicos, los herbicidas que son utilizados en el cultivo de caña de azúcar se encuentran la ametrina, el glifosato, el diurón, el 2.4 D, la terbutrina y el ácido fluazipop.

Aunque los mapas anteriores brindan una idea general de la situación en cuanto a la agricultura, es necesario ubicarlos espacialmente para poder comprender el contexto geográfico con el que son asociados. En la Figura 10 se puede apreciar cómo se distribuyen las plantaciones de caña de azúcar a lo largo del territorio nacional, evidenciando una mayor cantidad de hectáreas en la región de Guanacaste con un total de 35 197 ha, además se muestra la ubicación de estas en el cantón de Cañas y Esparza. En la Figura 11 se aprecia la distribución espacial de los cultivos en relación con la población del distrito central del cantón de Cañas; se observa que estos están localizados al oeste y al suroeste, unos a la par de los otros comprendiendo varias hectáreas continuas del mismo cultivo. Las poblaciones aledañas a la zona donde se encuentra la mayor concentración de cultivos son La Quesada, Bebedero, Finca Las Piedras, Hacienda Mojica y Hacienda Taboga, justamente rodeando el distrito de Bebedero en Cañas.

En cuanto al Ingenio Taboga, en el 2013 se estimó que las hectáreas cultivadas de caña de azúcar pasaron de las 8 000 a aproximadamente 10 000 (Vindas, 2013), por lo que actualmente dicho número podría incluso ser mayor, siempre comprendiendo terrenos alrededor de Cañas y el distrito de Bebedero.

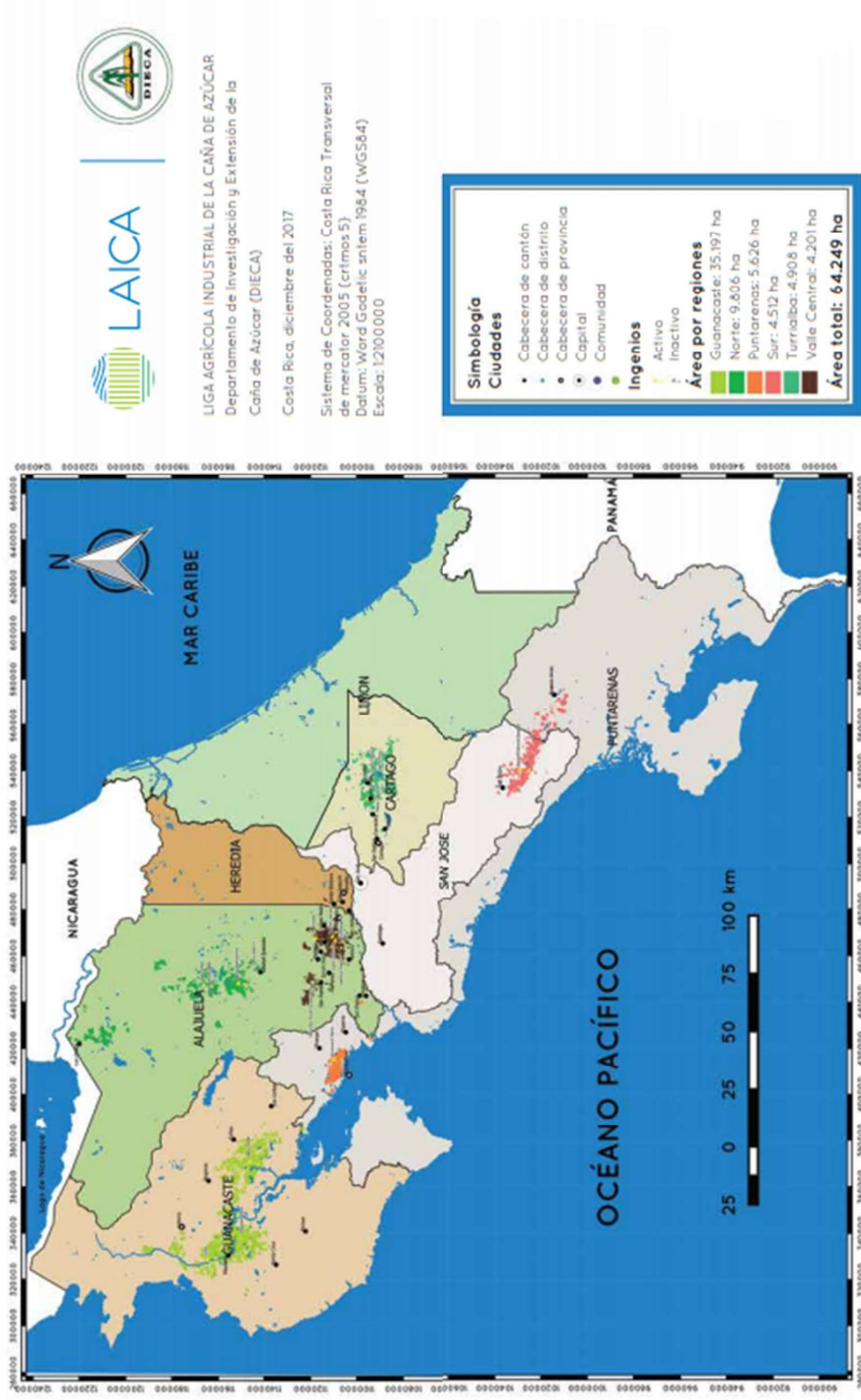


Figura 10. Distribución de las plantaciones de caña de azúcar por regiones. Tomado de LAICA (2018).

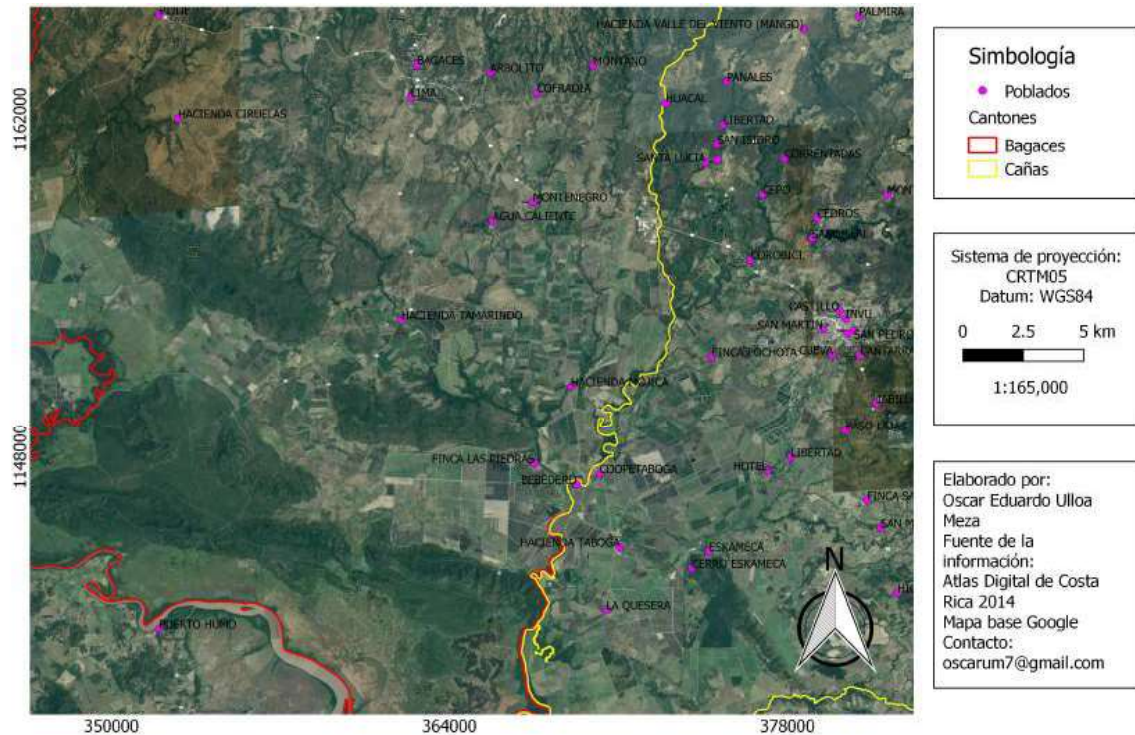


Figura 11. Distribución espacial de los cultivos y la población en Cañas y Bagaces.

Para el caso del cantón de Esparza, se aprecia en menos cantidad los cultivos cercanos a la zona de mayor densidad de población, tal como se muestra en la Figura 12. Al no poderse apreciar los cultivos por medio de las imágenes satelitales, se puede inferir la posibilidad de que se encuentren en regiones más alejadas o podría ser que las fincas en las que se realiza la siembra no sean de un tamaño significativo, impidiendo de esta forma ser apreciados por medio de la imagen satelital y detectadas a simple vista.



Figura 12. Distribución de los cultivos y la población en Esparza, Puntarenas.

Tal como se describió previamente, el proceso quema de la caña de azúcar durante la zafra o recolección consiste en una práctica común en nuestro país y en las regiones en donde este cultivo representa una amplia extensión en hectáreas de terreno. Según la información proporcionada por el MAG, el periodo en el que ocurre dicha actividad va del mes de noviembre a marzo de cada año. De acuerdo con la Figura 13, son dos los cantones que presentan una tasa aproximada entre 996 y 1245 hectáreas quemadas por cada 10 000 hectáreas de terreno en Costa Rica. El cantón de Cañas uno de estos, e incluso uno de los mayores, mientras que al compararlo con Esparza se tiene que el valor es muy diferente, esto al tener una tasa de quema que comprende de las 249 a las 498 hectáreas quemadas.

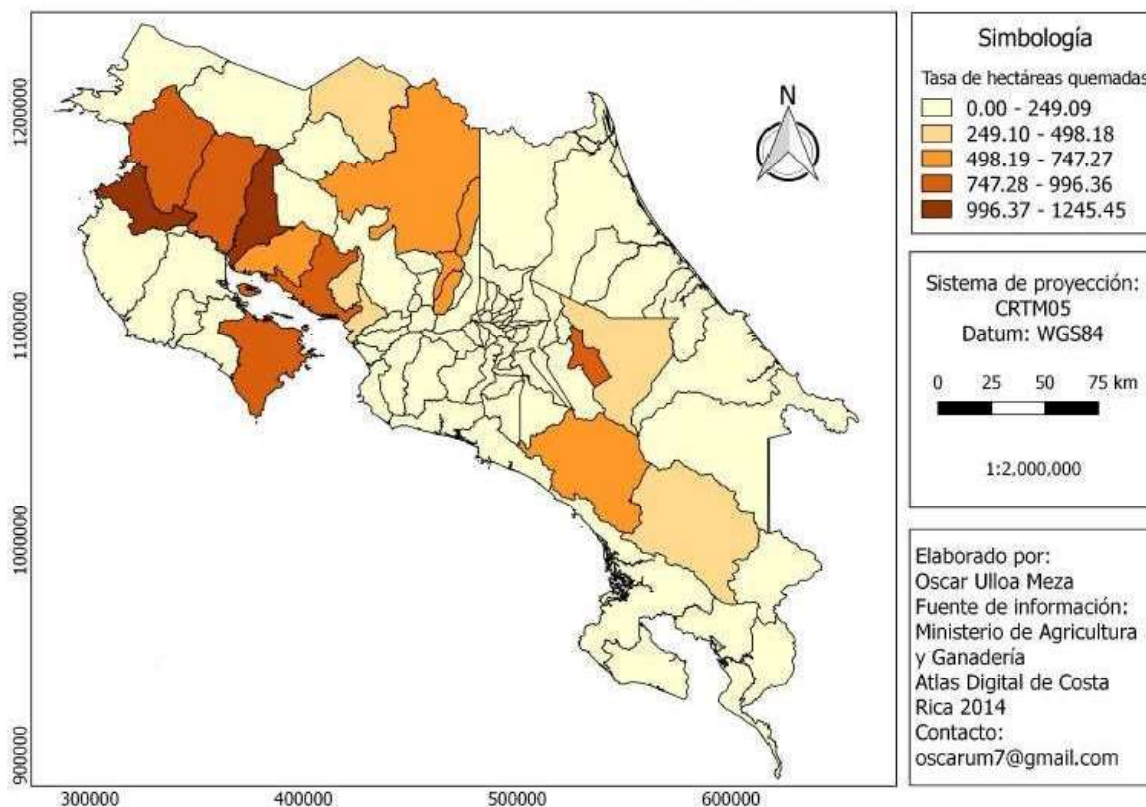


Figura 13. Tasa de hectáreas de caña de azúcar quemadas por cada 10 000 hectáreas de terreno en Costa Rica.
Fuente de los datos: Quirós (2015).

Para el caso del cantón de Grecia, se observa en la Figura 7 que el número de fincas dedicadas a la agricultura sobrepasan las 1500, siendo así una de las zonas con mayor número de terrenos dedicados a este tipo de práctica. Tal como se observó en la visita realizada y de acuerdo con la Figura 8, este cantón se ubica entre los segundos con mayor número de hectáreas con siembras de caña de azúcar para una tasa por cada 10 000 hectáreas de terreno de 652, notable diferencia con las 70 de Esparza y las 971 del cantón de Cañas. En cuanto a la tasa de hectáreas de caña de azúcar quemadas por cada 10 000 hectáreas de terreno, se obtiene que para el cantón de Grecia el valor calculado es de 127, mientras que la tasa exacta para Cañas y Esparza es de 861 y 75 respectivamente.

Estos resultados evidencian que a pesar de los riesgos en la salud y al ambiente que podrían ocasionar la quema de biomasa, en este caso durante la zafra, continúa siendo una práctica común y varios cantones cuentan con tasas de hectáreas de caña de azúcar quemada elevada, como es el caso de Cañas y en menor medida de Esparza.

5.1.3. Geología y topografía

5.1.3.1. Origen de los suelos

Costa Rica cuenta con una gran variedad de tipos de suelo que son clasificados de acuerdo con el proceso que les da origen. El tipo de suelo ultisol corresponde a uno de los más antiguos en el país y presentan la característica de ubicarse en lugares muy húmedos, en donde la precipitación es muy alta y provoca que elementos como el sodio, potasio, calcio y magnesio sean lavados (INTA, 2015). En la Figura 14. Mapa de ubicación del suelo de tipo ultisol en Costa Rica. Tomado de INTA (2015). se muestra la distribución de este tipo de suelo en el país, evidenciando que es uno de los que más abundan, encontrándose en todas las provincias. Se puede observar que compone en su mayoría el cantón de Esparza, mas no el de Cañas en donde hay zonas con otro tipo de suelo.



Figura 14. Mapa de ubicación del suelo de tipo ultisol en Costa Rica. Tomado de INTA (2015).

Los andisoles, por otro lado, son un tipo de suelo que se localiza en zonas donde hay presencia de volcanes debido a que su origen es a partir de cenizas y otros materiales volcánicos como piedra pómez y lava (INTA, 2015). Como se muestra en la Figura 15. Mapa de ubicación del suelo de tipo andisol en Costa Rica. Tomado de INTA (2015)., este tipo de suelo es ubicado principalmente en la cordillera de Guanacaste, la cordillera volcánica central y en la cordillera de Talamanca, zonas en donde se encuentran los volcanes de nuestro país. Cañas es una de las zonas en donde se pueden encontrar los andisoles debido a que comprende parte de la cordillera de Guanacaste (INTA, 2015). Por otro lado, Esparza no presenta suelos originados a partir de la actividad volcánica permitiendo identificar esta característica como una diferencia importante en cuanto a los factores geográficos y geológicos entre ambas zonas.

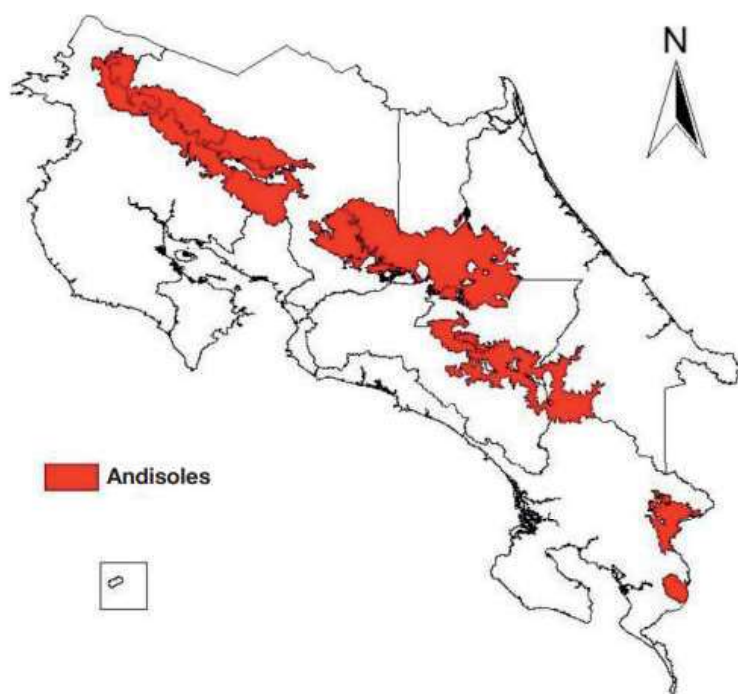


Figura 15. Mapa de ubicación del suelo de tipo andisol en Costa Rica. Tomado de INTA (2015).

En el país existe otra amplia variedad de tipos de suelos que se pueden ubicar en otras zonas y en menos proporción en Cañas y Esparza, sin embargo, para efectos de este trabajo solo se seleccionaron los dos principales tipos de suelo que se ubican en los cantones de

estudio. Resultando de esta forma, que se seleccionaran los utilisoles y los andisoles como los suelos con mayor proporción.

La importancia del tipo de suelo como factor de riesgo corresponde a los elementos que pueden encontrarse en ellos y que podrían ser transportados por el viento, en el caso de los andisoles los suelos han sido asociados con la presencia de metales pesados, en donde uno de ellos es el arsénico (Hue, 2013). De esta forma, si las partículas son desplazadas por el viento podrían llegar a las zonas pobladas dependiendo de la dirección que tengan y afectar la salud de la población.

Los andisoles se desarrollan principalmente a partir de ceniza, piedra pómez, escoria u otro material volcánico erupcionado (denominado colectivamente como tefra), estos cuentan con la capacidad de absorber el arseniato, razón por la cual en ciertos lugares se utilizan para purificar el agua potable o para la remediación de suelos contaminados con arsénico (McDaniel, Lowe, Arnalds & Ping, 2012). En el Cuadro 7 se presentan los principales componentes de las tefras, es decir de los elementos expulsados por medio de explosiones volcánicas, a partir de un análisis realizado a los suelos de este tipo en Japón.

Cuadro 7. Elementos con mayor proporción en tefras recientes en el suelo.

Compuesto	Rango de proporción (%)
SiO ₂	48-73
Al ₂ O ₃	12-20
Fe ₂ O ₃ + FeO	2-12
TiO ₂	0.4-1.2
CaO	2-11
MgO	0.5-8
K ₂ O	0.1-4
Na ₂ O	1.5-5

Fuente: (Nanzyo, Dahlgren, & Shoji, 1993)

Sin embargo, los suelos compuestos a partir de cenizas volcánicas también se logran identificar elementos como los presentados en la Figura 16, en donde es evidente la presencia de elementos que han sido asociados como causantes de problemas en la salud humana como el vanadio y el arsénico. Es a partir de esto en donde se enfatiza en la posibilidad de que estos elementos que resultan más perjudiciales puedan ser desplazados por acción del viento hacia la población.



5.1.3.2. Fallas geológicas

Una vez comprendido el factor anterior, se procede a analizar la situación con la ubicación de las fallas geológicas. En la Figura 17 se pueden observar las fallas dentro del territorio de Cañas, es importante aclarar que estas son las que se encuentran en el Atlas Digital de Costa Rica 2014, por lo que puede existir la limitante de que algunas fallas geológicas no hayan sido representadas, como es el caso de la falla Cañas observada en la Figura 18 y que recorre el cantón del mismo nombre. Esta última es de importancia considerarla debido a que corresponde a la más cercana a un lugar con una alta densidad de población.

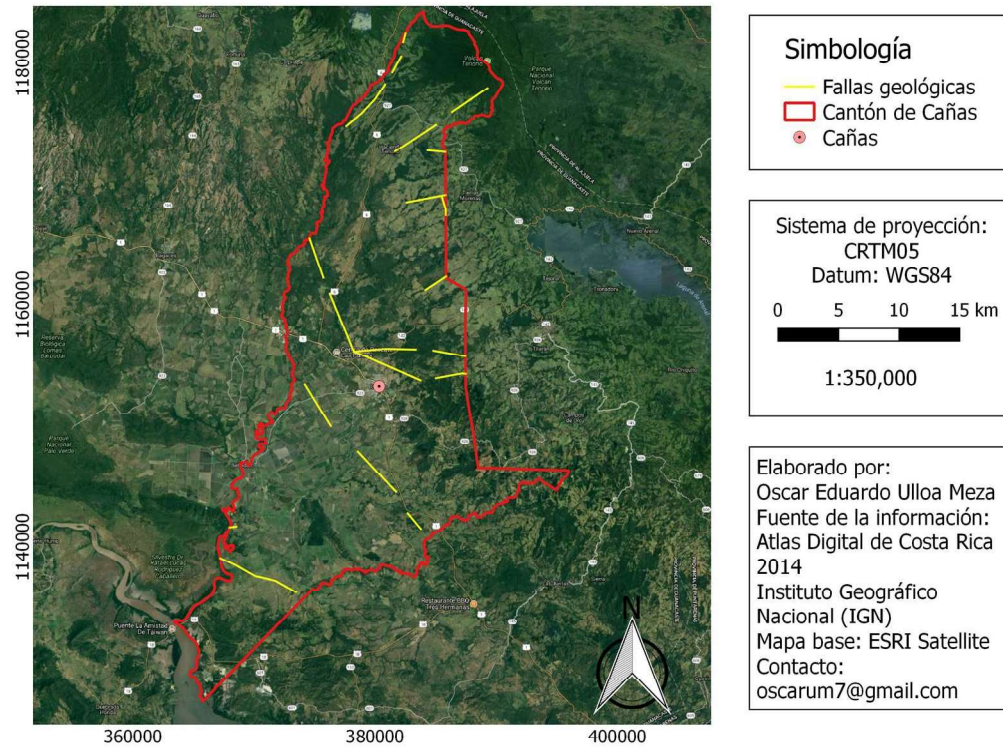


Figura 17. Localización de fallas geológicas en Cañas, Guanacaste.

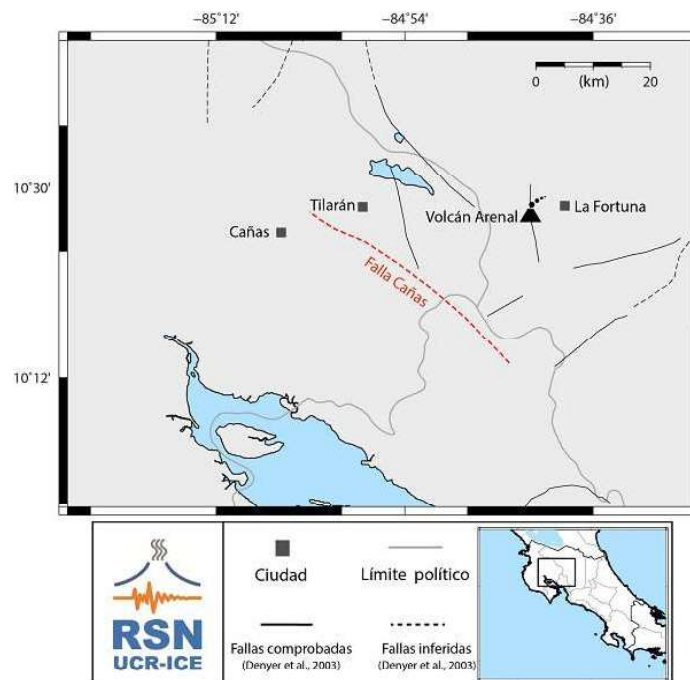


Figura 18. Localización de la falla Cañas en Guanacaste. Tomado de RSN (2015).

La visita de campo al lugar para la identificación y marcación de la ubicación de las fallas evidenció el escenario de la Figura 19. A partir de esto se obtuvo que, de los tres puntos visitados, los lugares por los que la falla se extendía eran distintos, uno de ellos se ubicó en el CAIS de Cañas, otro punto por el que una falla pasaba era una finca, terrenos dedicados a la agricultura y por carreteras. A simple vista, dos de los puntos visitados no mostraron evidencia visual para identificarlos como lugares por lo que pasaba una falla, tal como se esperaría y como se observó en el punto marcado en el mapa como falla escarpada.

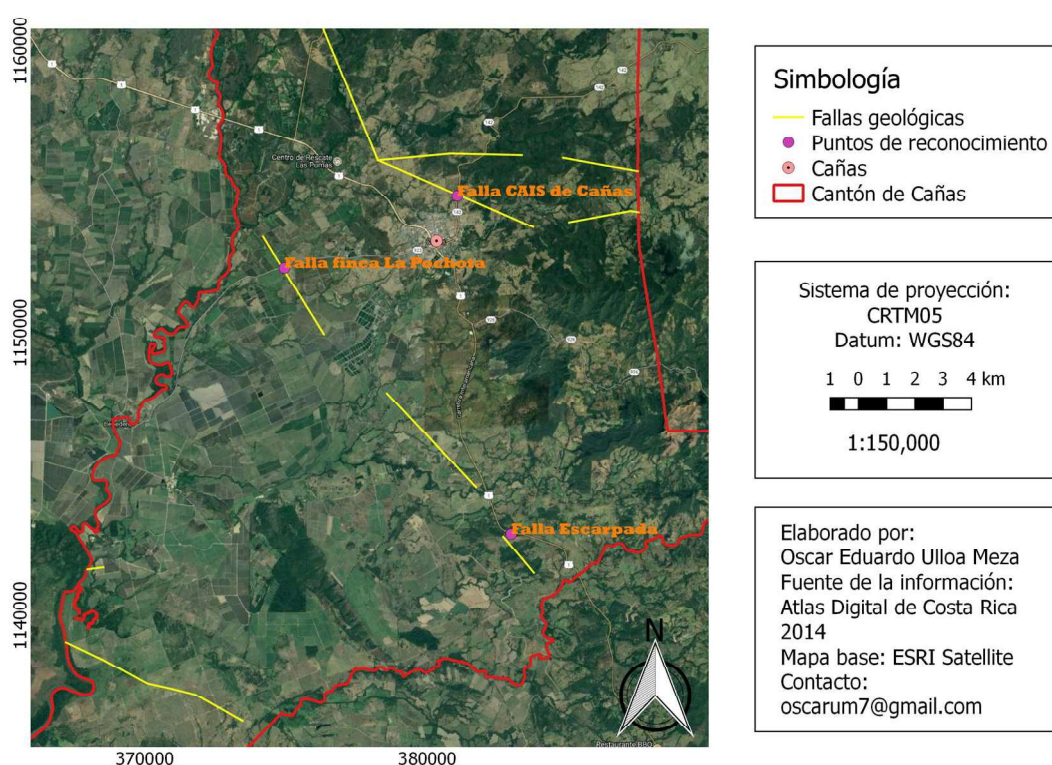


Figura 19. Puntos de reconocimiento de las fallas en Cañas, Guanacaste.

Específicamente en el distrito de Bebedero, identificado como el que mayor tasa de NM presenta, solo se encuentra una sección de una de las fallas. Dicha situación se puede observar en la Figura 20. Además, cabe rescatar la relación de cercanía existente entre el lugar con mayor densidad de población, que se ubica representado por medio de la señalización de algunos puntos de interés, y los terrenos dedicados a la agricultura

comentados en la sección 5.1.2. En la misma figura se aprecia la ubicación dentro del distrito de Bebedero del Ingenio Taboga, uno de los principales productores de caña de azúcar en el país y cuyos terrenos dedicados a ese cultivo se encuentran alrededor.

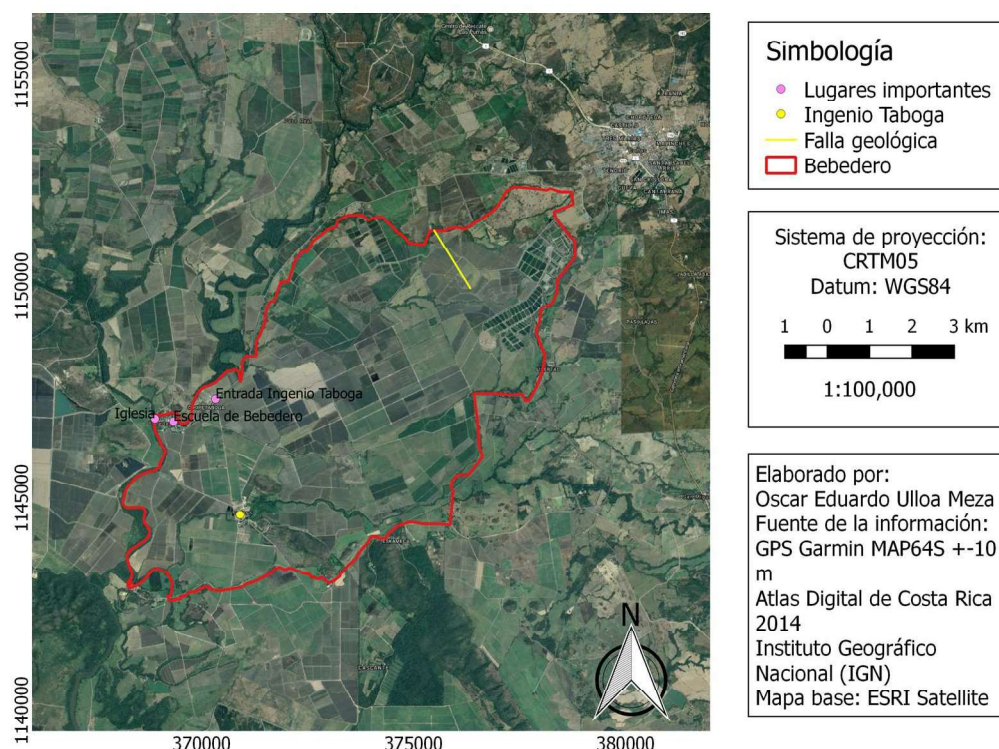


Figura 20. Escenario de Bebedero.

Por otro lado, la situación en Esparza es similar a la de Cañas debido a la que existe la presencia de varias fallas geológicas a lo largo del Cantón, sin embargo, ninguna de ellas pasa por alguno de los lugares con mayor densidad poblacional en el cantón como ocurrió con la falla Cañas, tal como se muestra en la Figura 21.

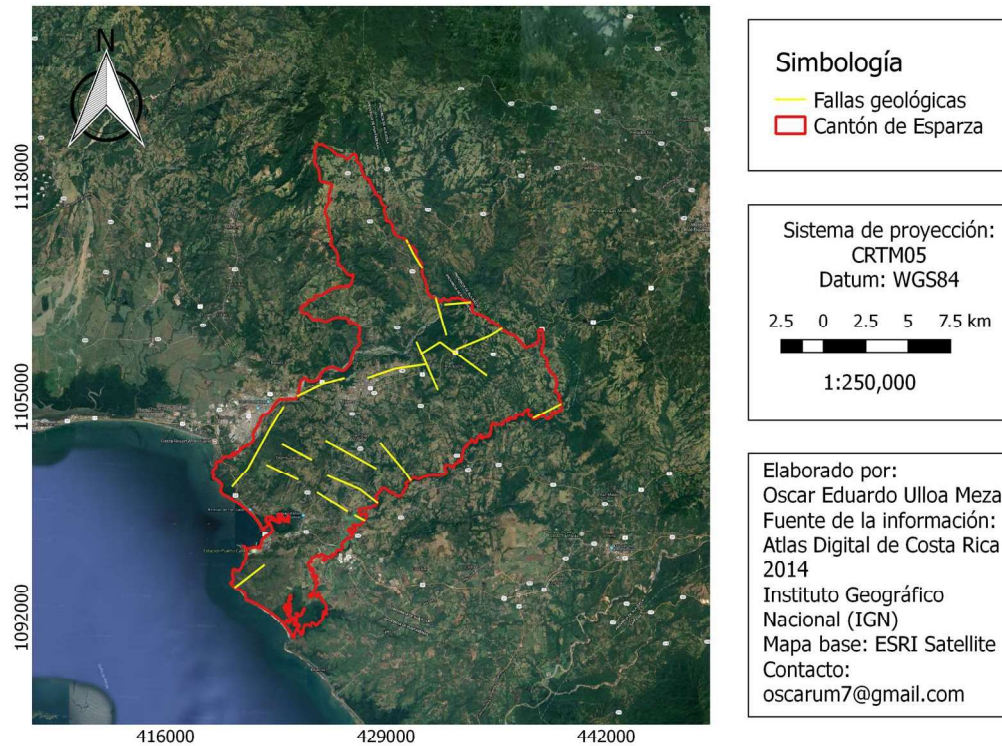


Figura 21. Localización de fallas geológicas en Esparza, Puntarenas.

De esta forma, a pesar de tener la ubicación de las fallas geológicas en ambos lugares de interés, no se encontró evidencia suficiente para relacionarlas con la tasa de NM en el cantón de Cañas, específicamente en Bebedero.

5.1.3.3. Altura

La altura representa un factor importante que determina la velocidad de crecimiento de la caña de azúcar en las zonas de cultivo, siendo menor en bajas alturas. A partir del tratamiento de los datos de las curvas de nivel que se observan en la Figura 22, se obtiene que en el cantón de Cañas la altura máxima puede llegar a los 2020 msnm en la parte más montañosa y la altura mínima es de 0 msnm en la parte más alejada de esta.

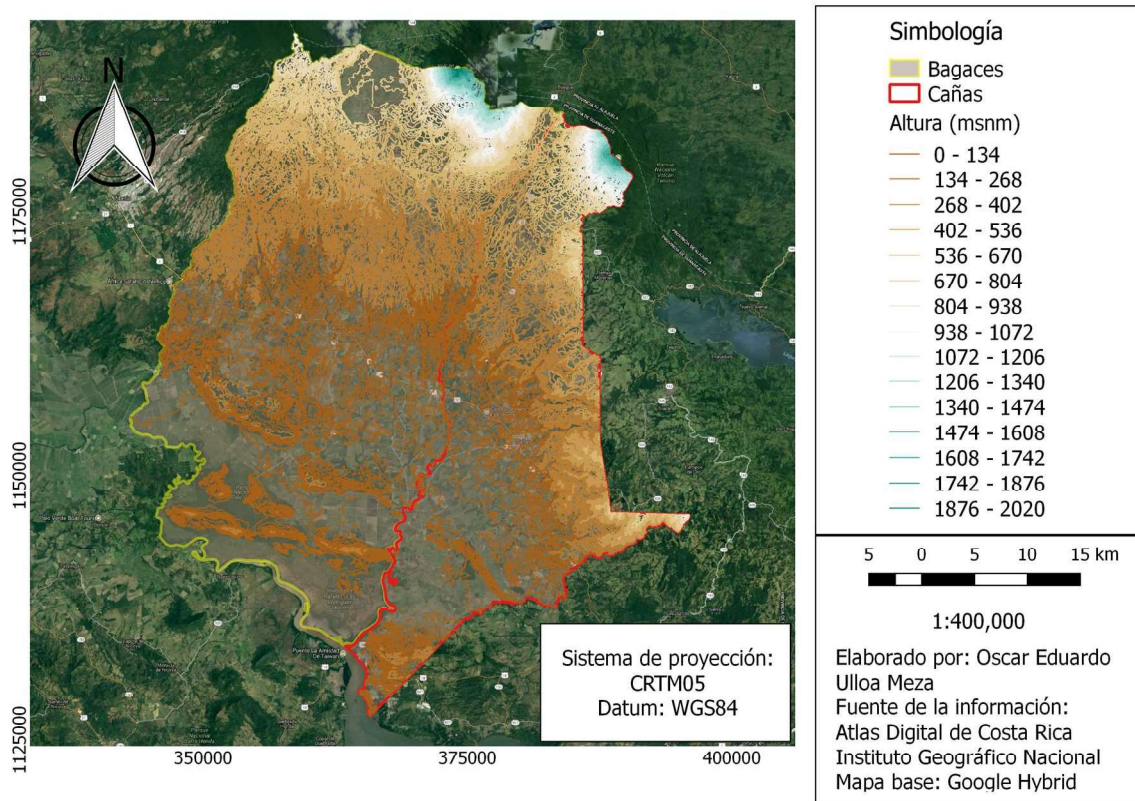


Figura 22. Curvas de nivel de Cañas y Bagaces, Guanacaste.

Si se realiza una comparación entre la Figura 11 y la Figura 22 se puede determinar que las zonas en el cantón de Cañas en donde se encuentran los terrenos dedicados a la agricultura corresponden a los de menor altitud y más regulares. Esta situación también puede observarse en la Figura 23, que corresponde a la zona con la mayor tasa de la NM. En el mapa es posible observar las curvas de nivel del distrito con su respectiva altura y evidenciando que es un terreno casi en su totalidad dedicado a la agricultura, mucha de ella de caña de azúcar, con alturas que van de los 10 msnm hasta los 60 msnm convirtiéndola de esta forma en una de las zonas más bajas del cantón y con mayor cantidad de cultivos.

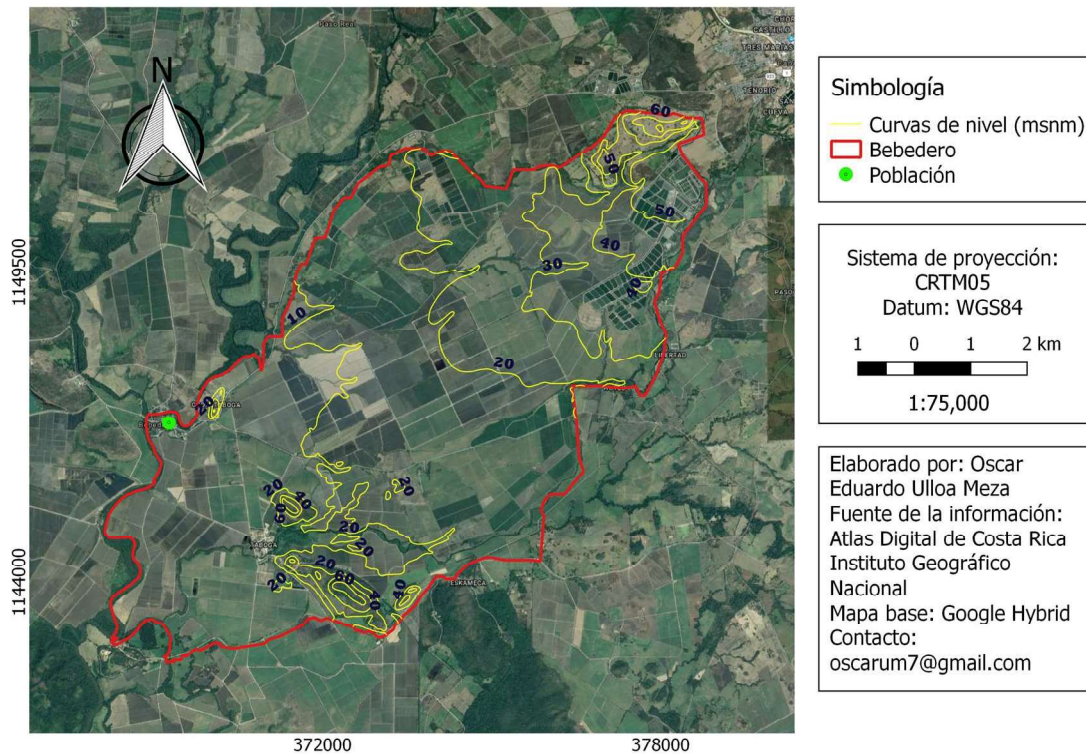


Figura 23. Curvas de nivel del distrito de Bebedero, Cañas, Guanacaste.

El cantón de Esparza en su totalidad presenta una altura máxima de 1400 msnm en la región más cercana a la montaña y que se muestra de color verde oscuro en la Figura 24, mientras que la altura mínima es de 0 msnm. Esta situación indica que ambos cantones presentan zonas de muy baja altitud y por eso son consideradas adecuadas para el cultivo de caña de azúcar.

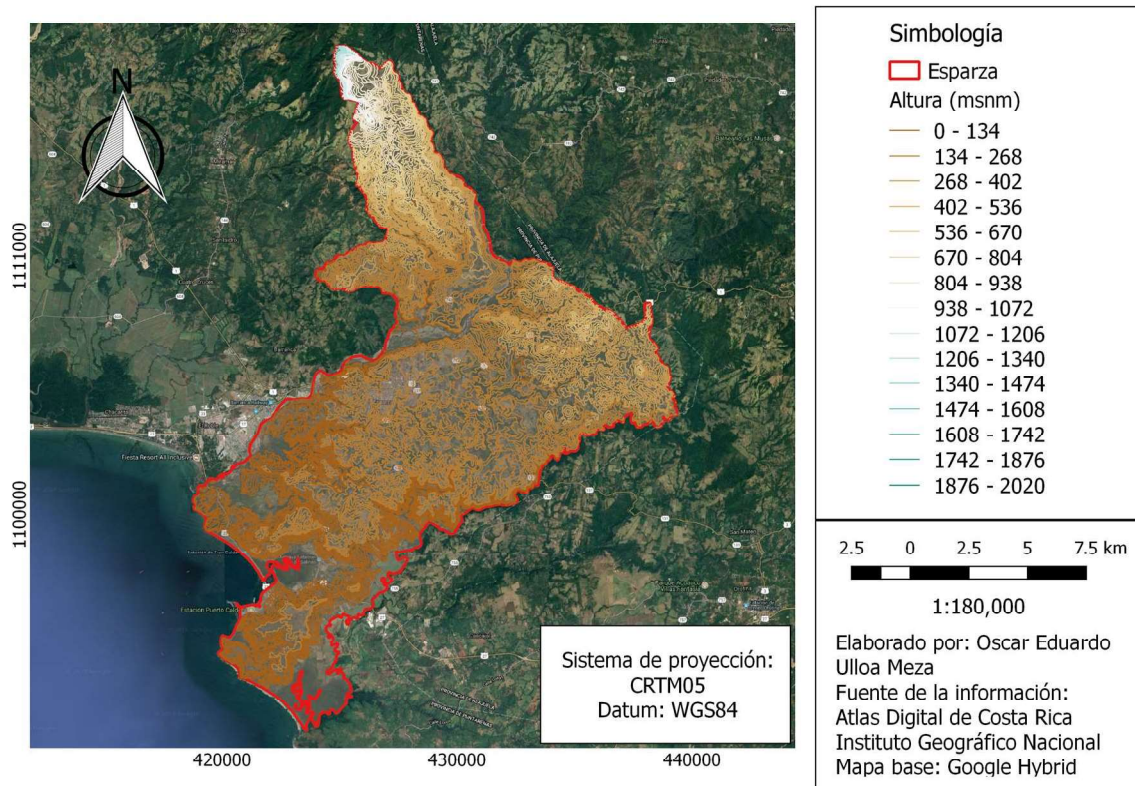


Figura 24. Curvas de nivel del cantón de Esparza, Puntarenas.

A partir de la toma de puntos de altura, por medio de GPS, en los lugares con una mayor densidad de población se obtienen los resultados presentados en el Cuadro 8, de estos se puede determinar que de los lugares visitados el que menor altura presenta es el centro de Bebedero, seguido por el centro del distrito de Cañas y seguidamente la región central de Esparza.

Otro resultado importante es la diferencia de altura entre los cañales ubicados en el cantón de Grecia y la región de Bebedero o incluso de Esparza. Este pudo ser un factor importante en la determinación estadística del lugar de menor incidencia en la tasa de la ERC, además de que las condiciones de siembra de la caña de azúcar en ese lugar no son las óptimas según la literatura.

Cuadro 8. Alturas obtenidas por medio de GPS en lugares de interés.

Lugar	Altura (msnm)
Cañas	84,06
Bebedero	12,39
Esparza	190,80
Cañales de Grecia	738,92
Falla CAIS de Cañas	98,95
Falla finca La Pochota	30,57
Falla escarpada	105,49

Los puntos identificados en la Figura 19 también se les tomó la altura y se determinó que en la sección consultada el orden de mayor a menor altura es: la falla escarpada, la falla que pasa por la finca La Pochota y finalmente la que pasa por el CAIS de Cañas.

La información presentada permitió determinar la altura en el cantón de Cañas es mayoritariamente más baja que la de Esparza, así como los lugares en los que se da el cultivo de caña de azúcar.

5.1.3.4. Región montañosa

La ubicación de las montañas con respecto a la ubicación de la población es de gran importancia para este proyecto, ya estas juegan un papel importante en la dispersión de partículas por acción del viento, así como en la intensificación o disminución los fenómenos atmosféricos. En el caso de Cañas, esta distribución se observa en la Figura 25 y se identifica que su ubicación está después de un paso de montaña y en las faldas de ésta. Aunado a esto se nota que las regiones de Cañas y Bebedero se ubican en zonas muy regulares. En el mismo mapa se puede observar que al norte del cantón de Cañas se ubica la cordillera de Guanacaste.

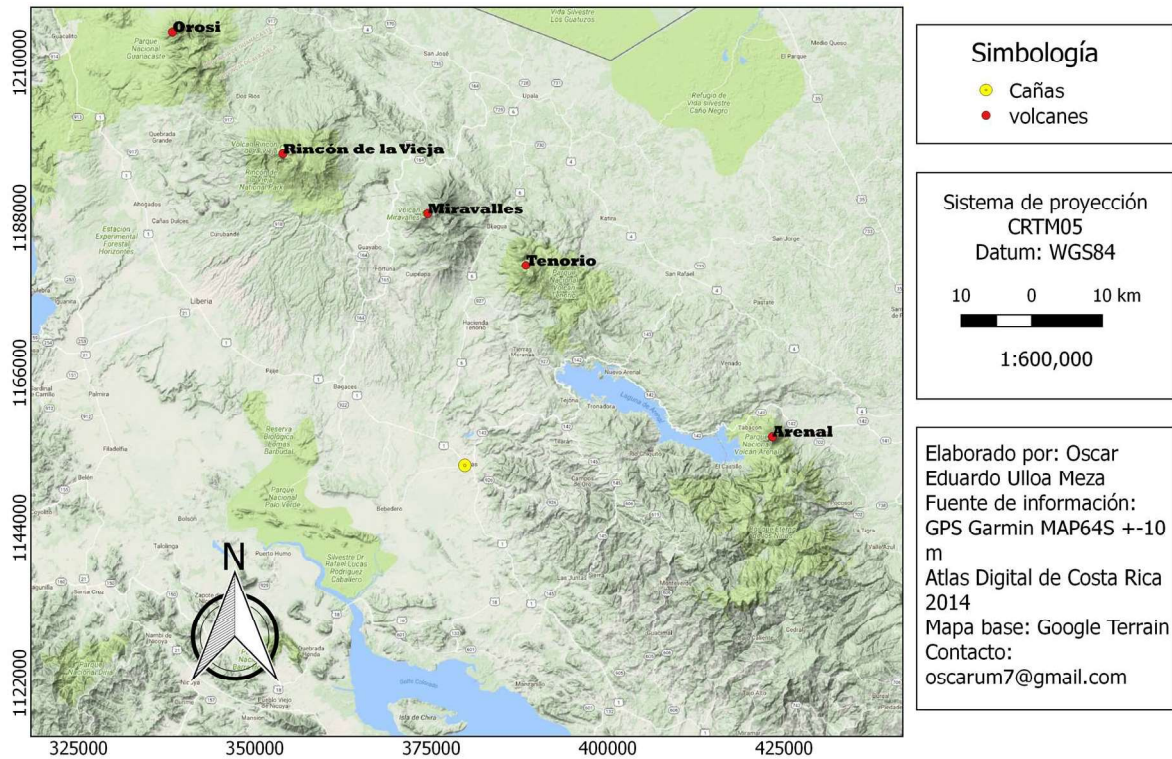


Figura 25. Ubicación de las montañas cercanas a Cañas, Guanacaste.

Es importante destacar la presencia de los volcanes Miravalles y Tenorio en la cordillera de Guanacaste, ya que estos forman parte del paso de montaña que se ubica en dirección al territorio con mayor densidad de población en el distrito de Cañas y de forma más directa hacia el distrito de Bebedero. Asimismo, es posible determinar la relación existente entre la ubicación de los volcanes con el tipo de suelo andisol en las regiones montañosas mostradas en la Figura 15.

El cantón de Esparza se observa que es un terreno más irregular que el de Cañas, en la Figura 26 se muestra que, a diferencia de Cañas, esta zona tiene montañas seguidas en la cordillera de Tilarán y con un nivel de altura más homogéneo, por lo que no se evidencia visualmente la presencia de pasos de montaña considerables como el que se representó en la Figura 25 para el caso del Cantón de Cañas. Esta situación representa otra diferencia entre los dos lugares que se están estudiando.

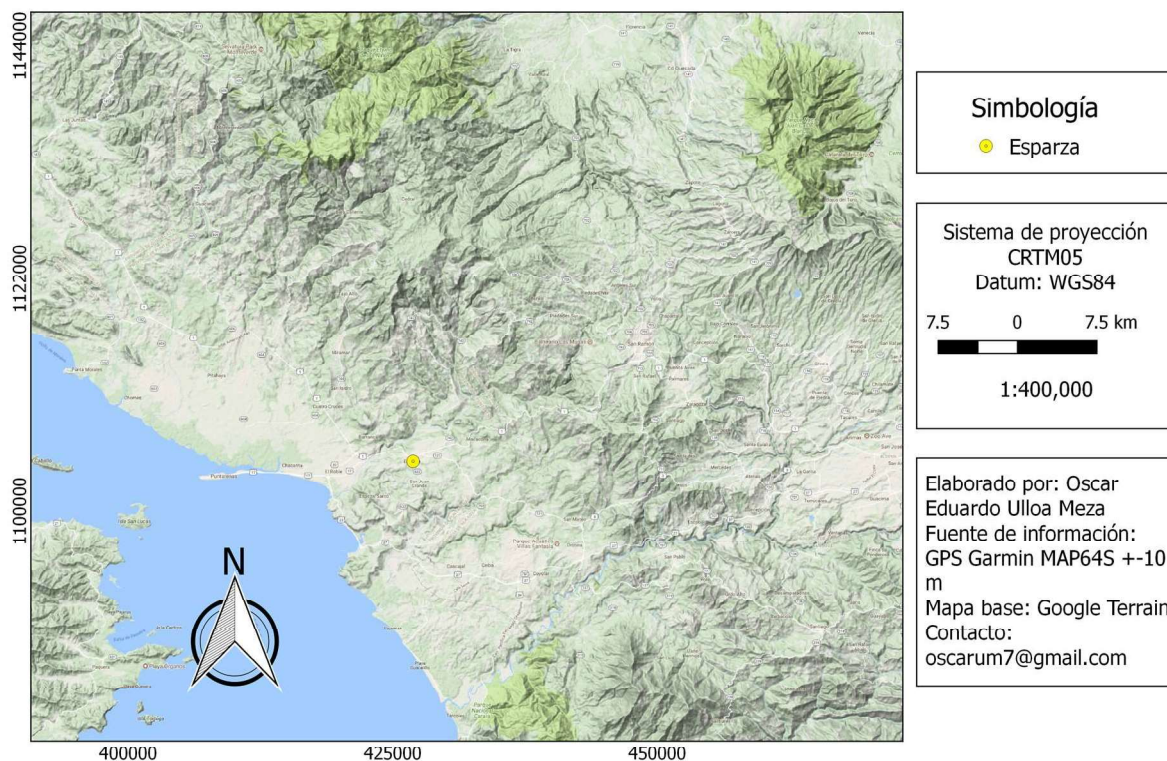


Figura 26. Ubicación de las montañas cercanas a Esparza, Puntarenas.

5.1.3.5. Sitios con presencia de arsénico

Se ha podido demostrar que la sensibilidad humana a los efectos tóxicos del arsénico cambia de acuerdo con una serie de factores como los genéticos, metabólicos, de la dieta, del estado de salud, del sexo y de la edad (Navoni, De-Pietri, Garcia & Villaamil-Lepori, 2012). Por esta razón es importante la determinación del arsénico en cada una de las matrices a las que las diferentes poblaciones se encuentra expuesta y de la clasificación de estas de acuerdo con los factores mencionados para proceder a un correcto análisis de riesgo.

La presencia de arsénico en Costa Rica en el agua es un análisis que el AyA se ha encargado de realizar por medio de pruebas de laboratorio. Es a partir de esta información que se identifica el escenario de la Figura 27, que refleja diferentes puntos en los que se han realizado muestreos de agua y los análisis han dado positivo en la presencia de arsénico. Es evidente que la mayor cantidad lugares analizados como pozos, tubos de casas de habitación y lugares públicos, se encuentran en el cantón de Cañas, la concentración reportada va desde

los 3 $\mu\text{g/L}$ hasta los 29 $\mu\text{g/L}$ dependiendo de la zona. Para Esparza no se han reportado análisis de muestras de agua en algún punto por lo que no se incluyó en el mapa.

Sin embargo, es importante destacar que el AyA ha dejado de utilizar los pozos determinados como positivos debido al contenido de As en los mismos.

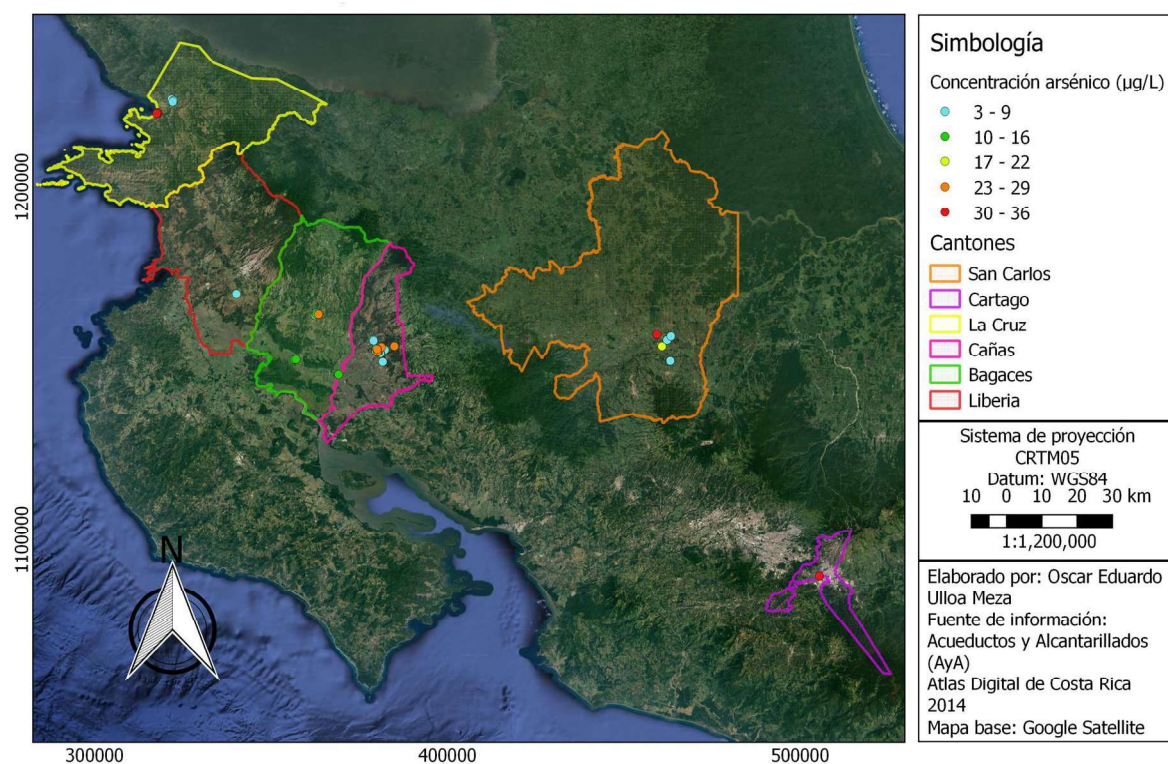


Figura 27. Puntos de muestreo de agua determinados como positivos por arsénico en Costa Rica.

Los resultados presentados indican la presencia de arsénico en la matriz agua, incluyendo las de tipo subterráneo, no obstante, a pesar de la existencia de un documento con resultados de arsénico en el suelo, no se obtuvo acceso a él por lo que no se incluye en el trabajo y no se puede determinar las concentraciones en las que ha sido encontrado en la zona. De acuerdo con un estudio realizado por Mora-Alvarado, Urbina-Campos & Chamizo-García (2015), en el cantón de Bebedero han sido identificados lugares con concentraciones de arsénico mayores a 10 $\mu\text{g/L}$ en el agua, sin embargo, por medio de un análisis estadístico se determinó que el agua contaminada con arsénico probablemente no es un factor de riesgo

común en las zonas afectadas por ERC debido a la que no existe una correlación lineal fuerte con el índice de morbilidad estandarizada. Debido a lo anterior es que se evidencia la necesidad de la determinación de concentraciones de arsénico en el suelo en la zona Cañas para poder determinar la posible relación con la tasa de incidencia de la NM.

5.1.4. Polvo del Sahara

A pesar de que existen estudios realizados al respecto por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la UNA, luego del análisis de la información se determinó que las pruebas sobre la composición del polvo del Sahara han sido de muestras tomadas dentro de la Gran Área Metropolitana, por lo que utilizar los resultados de dichos análisis y extrapolar la información para ser utilizada en este proyecto sería un resultado erróneo, por lo que no son incluidos ni considerados.

Sin embargo, en la Figura 28 se logra observar cómo ocurre la dispersión del polvo del Sahara a lo largo de Mesoamérica y otras regiones del continente, demostrando así el ingreso de este en el país.

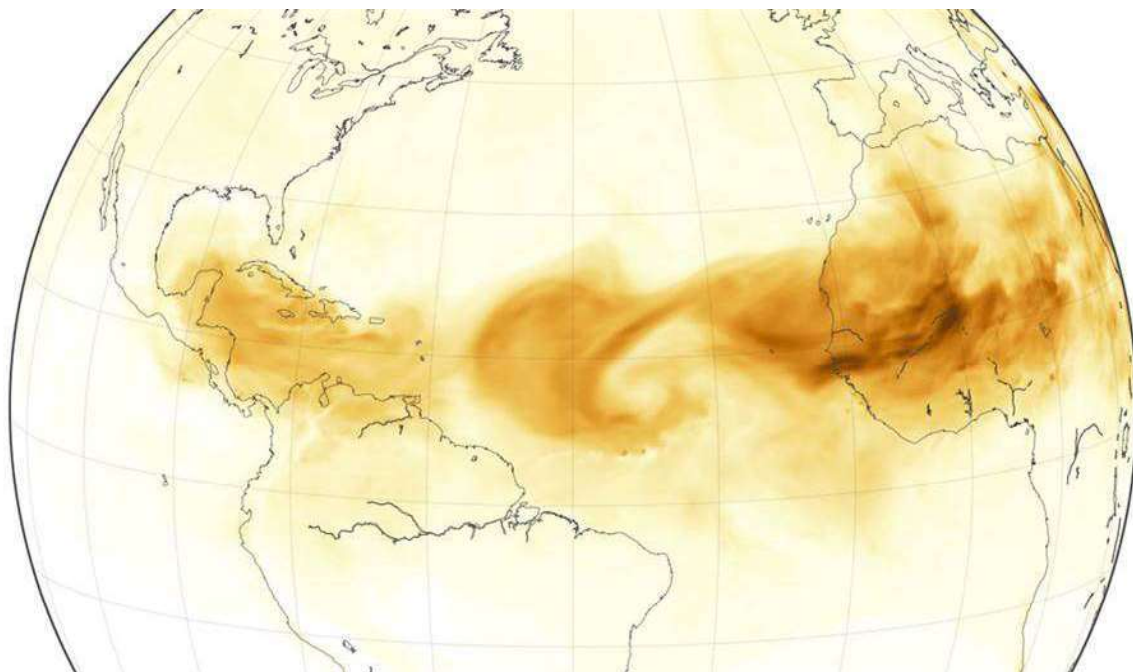


Figura 28. Distribución del polvo del Sahara en Mesoamérica por acción del viento. Tomado de Martins (2018).

5.1.5. Temperatura

La temperatura máxima promedio anual varía de una zona a otra y es considerada un factor de análisis importante en la tasa de incidencia de la NM. Tanto en el cantón de cañas como en el de Esparza este factor presenta valores que varían entre los 19 y 30° C, tal como se muestra en la Figura 29. Al ser un factor en común entre ambos lugares de estudio, constituye otra las razones por las que ambos lugares fueron seleccionados y que influye en el proceso de crecimiento y producción de la caña de azúcar.

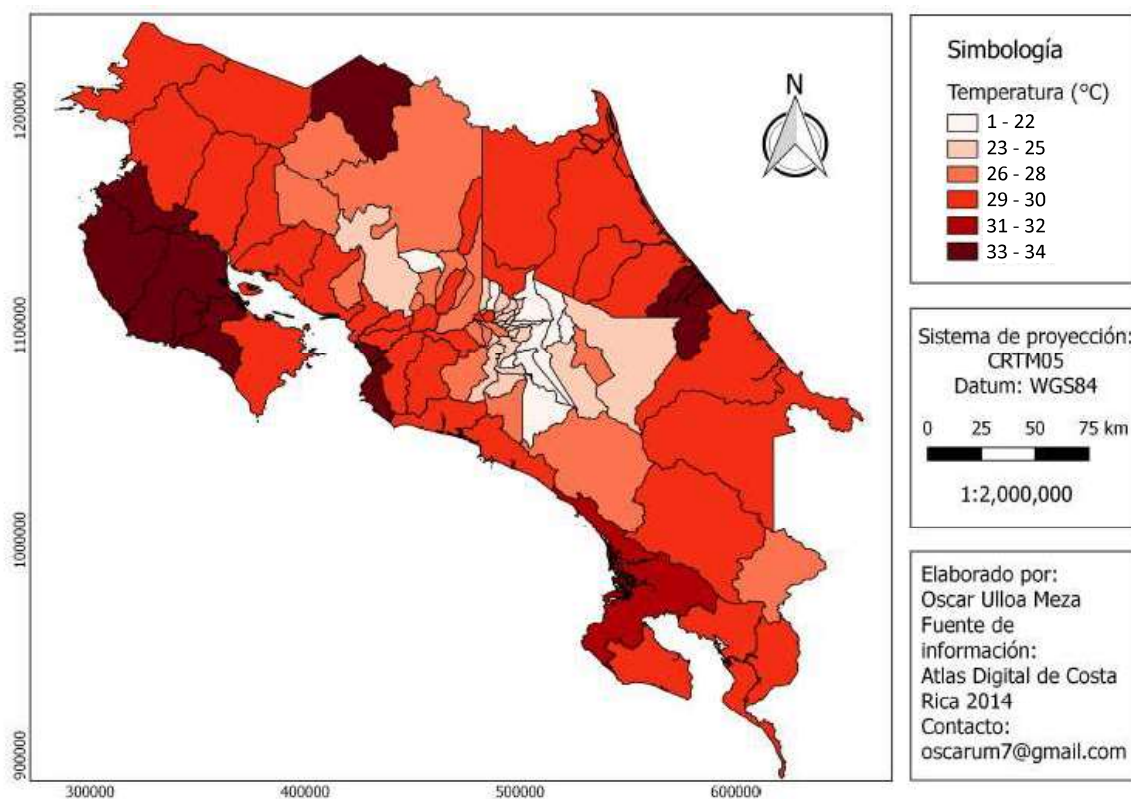


Figura 29. Temperatura máxima promedio anual en Costa Rica.

Con el fin de obtener una mejor representación de la información que la presentada en el mapa, se utilizaron datos provenientes de la estación meteorológica La Pacífica en Cañas para determinar la variación mensual de este factor. Los resultados que comprenden un periodo entre 1999 y el 2017 reflejan que el mes que presenta la temperatura promedio más alta lo constituye el mes de abril con un promedio de 34°C, mientras que la más baja corresponde al mes de noviembre y diciembre con 30°C, esto se refleja en la Figura 30.

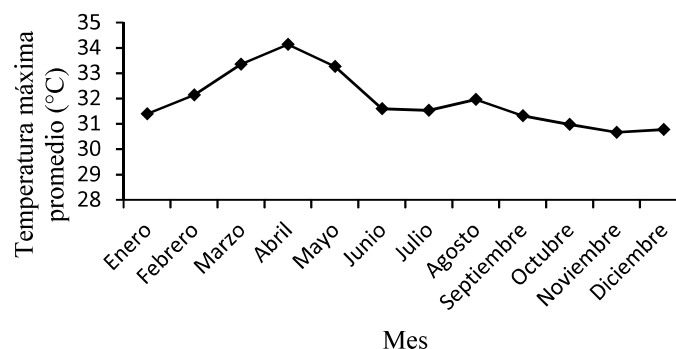


Figura 30. Variación mensual de la temperatura máxima promedio en la estación meteorológica La Pacífica, Cañas.

Por otro lado, para el caso de Esparza se considerarán los datos de la estación meteorológica más cercana que es la de San Miguelito de Barranca. A partir de estos datos, se obtiene que el mes con una mayor temperatura máxima promedio corresponde a abril, con un valor de 38°C y el de menor es en el mes de octubre con un valor de 33°C, tal como se muestra en la Figura 31.

El presente análisis permite establecer que el mes con la mayor temperatura máxima promedio en ambos casos corresponde a abril y además en general se determina que las temperaturas varían entre las que se consideran óptimas para el cultivo de caña de azúcar, otra razón por la que el cultivo de caña de azúcar en el lugar es tan abundante.

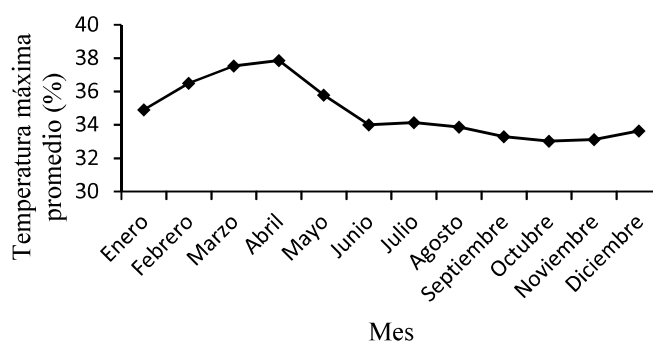


Figura 31. Variación mensual de la temperatura máxima promedio en la estación meteorológica San Miguelito de Barranca en Puntarenas.

Para el caso del cantón de Grecia se obtiene por medio de la Figura 29, que la temperatura máxima promedio anual corresponde a un valor entre los 29 y 30°C al igual ambos cantones, observando así condiciones similares en cuanto a este factor.

En el caso de este factor es importante establecer que para que un lugar sea determinado como afectado por el calentamiento global, la variación de la temperatura mínima debe ser mayor a 1°C y debe mantenerse constante (Stolz, 2018). Sin embargo, el país constantemente se encuentra bajo varios fenómenos que ocurren cada cierto periodo de tiempo y que afectan directamente la temperatura de las diferentes regiones.

En el Cuadro 9. Variación de la temperatura global ocasionada por el efecto del fenómeno de El Niño y La Niña. se presentan los valores de la variación en la temperatura ocasionada por El Niño y La Niña, fenómenos que afectan nuestro país, el primero se presenta de color rojo y representa incrementos de temperatura y periodos muy secos en la zona de Guanacaste mientras que por el contrario, La Niña se representa con el color celeste genera el efecto contrario. Aunque los fenómenos mencionados son globales, los efectos en nuestro país se reflejan en el Pacífico.

Así como se presentan estos efectos, existen otros como la oscilación decadal del Pacífico o la variación de Madden Julian (Stolz, 2018), que también ocasionan efectos en la variación de la temperatura en nuestro país en periodos distintos pero que no implican la clasificación de la zona como una que ha sido afectada por el calentamiento global.

Es importante el estudio y conocimiento de los fenómenos de variabilidad ambiental debido a que estos han sido confundidos en muchos casos como efectos causados por el calentamiento global pero que en realidad son fenómenos cuya ocurrencia y periodo de los efectos varían con los años. El caso de altas temperaturas y sequías en el área de Guanacaste en distintos meses y en diferentes años se puede asociar con el fenómeno de El Niño, que causa dichos efectos en el Pacífico de nuestro país. Dichos resultados también reflejan la importancia de tener en cuenta que, al trabajar con datos promedios mensuales, aunque permiten observar el comportamiento predominante, se podría generar un enmascaramiento de la variabilidad.

Cuadro 9. Variación de la temperatura global ocasionada por el efecto del fenómeno de El Niño y La Niña.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-

Fuente: Adaptado de NOAA (2018).

5.1.6. Humedad relativa promedio anual

La humedad relativa promedio anual constituye un factor que se determinó estadísticamente significativo en la tasa de incidencia de la ERC de acuerdo con estudios previos (Quirós, 2015). La Figura 32 permite visualizar la distribución de la humedad relativa en los diferentes cantones del país, se logra extraer que tanto Cañas como Esparza cuentan con una humedad relativa del 73%.

Si se desea comparar el cantón de Grecia con estos dos resultados se obtiene que la humedad relativa en este lugar es de un 80%.

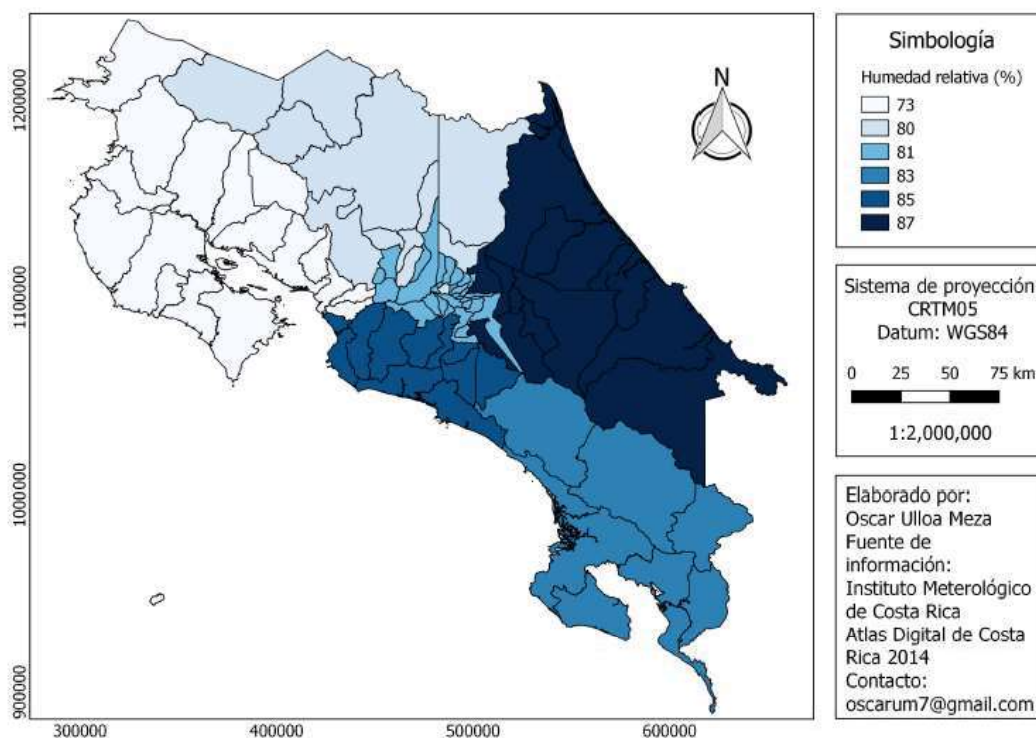


Figura 32. Humedad relativa promedio anual en Costa Rica.

Los datos mensuales indican que en la zona de Cañas la humedad promedio en el mes de octubre corresponde a la más alta en promedio, con un valor de 86%, mientras que la más baja es en el mes de marzo con un 68%, según se presenta en la Figura 33.

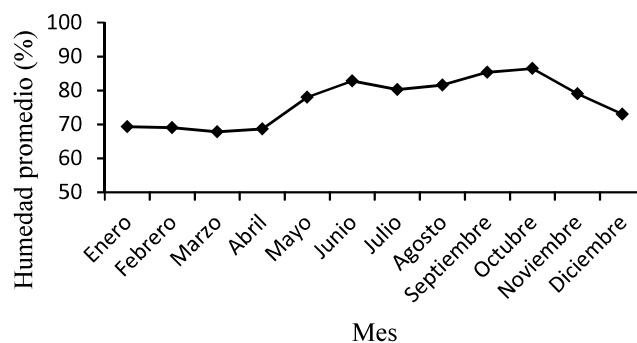


Figura 33. Variación mensual de la humedad promedio en la estación meteorológica La Pacífica, Cañas.

Para el caso de Esparza, la estación meteorológica más cercana establece que el mes más húmedo en promedio es octubre con un 91% y el de menor es marzo con un 57%, situación que se puede comparar en la Figura 34.

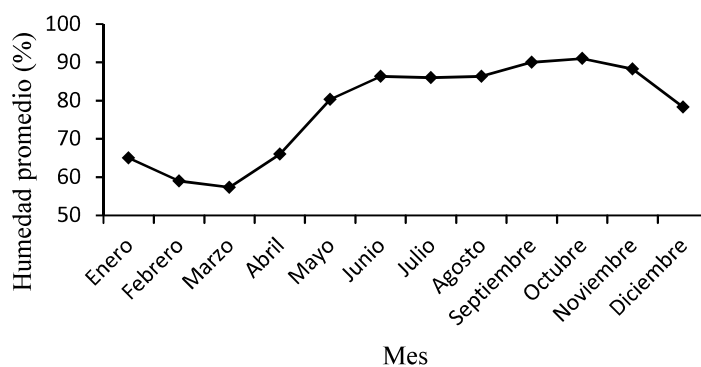


Figura 34. Variación mensual de la humedad promedio en la estación meteorológica San Miguelito de Barranca en Puntarenas.

De esta forma, en cuanto a la humedad, se determina que en los cantones de Esparza y Cañas el mes con mayor humedad relativa es octubre y si se considera como humedad relativa anual, en promedio es la misma.

5.1.7. Precipitación

El análisis de los datos en la estación meteorológica en Cañas permitió obtener como resultado que setiembre sea considerado el mes con mayor precipitación con valores de 294 mm y el más bajo en el mes de febrero con tan solo 1 mm de lluvia como promedio mensual, esto se evidencia en la Figura 35. Adicional a lo anterior, se puede observar que en junio hay un incremento de las lluvias, aunque no tanto como en setiembre.

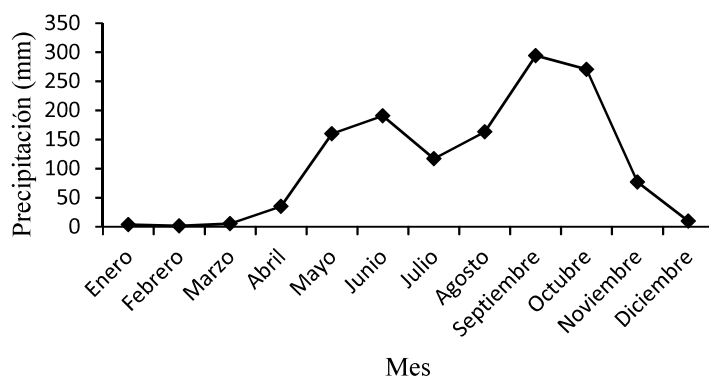


Figura 35. Variación mensual de la precipitación promedio en la estación meteorológica La Pacífica, Cañas.

Esparza, por otro lado, tiene como mes más lluvioso setiembre, con cifras promedio de 309 mm, además, el mes menos lluvioso es enero con un valor promedio de 0,6 mm. En la misma Figura 36 se puede observar un aumento de las lluvias desde el mes de abril hasta junio obteniendo un máximo de precipitación, aunque menor al de setiembre en donde nuevamente las lluvias se ven incrementadas.

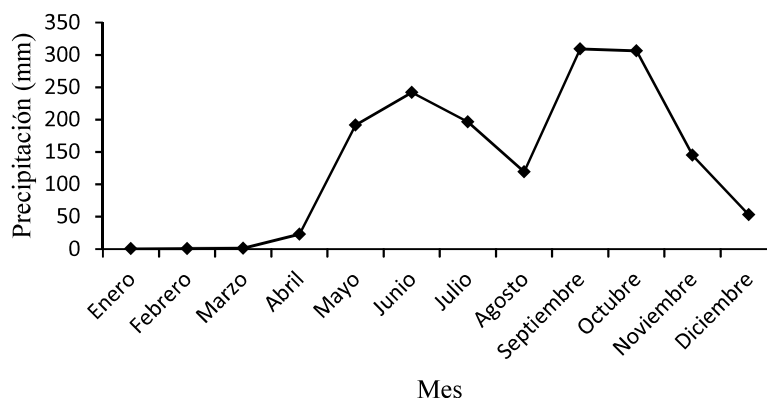


Figura 36. Variación mensual de la precipitación promedio en la estación meteorológica San Miguelito de Barranca en Puntarenas.

5.2. ANÁLISIS DE LOS MODELOS

Un elemento importante para la comprensión del modelo es que en este se indica la hora de la situación representada medida en horas zulú, igualmente en la esquina inferior derecha, para el caso de este modelo corresponde a 18Z. Las horas zulú o, como se conocía antes, la hora del meridiano Greenwich y que ahora es Tiempo Universal Coordinado (UTC) es el formato utilizado en aeronáutica para expresar el tiempo. Para obtener la hora en nuestro país se le debe restar seis horas, por lo que para el caso del modelo presentado en la Figura 39, la situación representada ocurrió a las 12 medio día del día 17 de noviembre de 2017.

Para la identificación de la dirección del viento se utilizan flechas con barbas y su unidad son los nudos y el símbolo, por su nombre en inglés, es kt. Estas en el modelo se representan con líneas indicando con uno de sus extremos y por medio de su inclinación la dirección a la que se dirige el viento y en el otro extremo unas líneas que indican los nudos, que posteriormente pueden ser convertidos a unidades como kilómetros por hora. En la Figura 37 se muestra la forma correcta en la que deben ser interpretadas las barbas de viento. Sin embargo, la escala de colores mostrada del lado derecho del modelo corresponde la velocidad del viento y se encuentra en kilómetros por hora.



Figura 37. Interpretación de las barbas de viento. Tomado de Comisión Permanente del Pacífico Sur (2018).

Además, los modelos cuentan con una escala en el lado derecho en kilómetros por hora que facilitan su comprensión, en este caso el color de una zona es diferente dependiendo de su velocidad. Un color fucsia representa una velocidad máxima dada por el modelo y que alcanza valores superiores a los 60 km/h, mientras que zonas representadas con el color blanco corresponden a aquellas en donde la velocidad es menor a los 3 km/h.

Los datos iniciales de la velocidad del viento fueron medidos en la estación meteorológica ubicada en Hacienda Mojica, cuya ubicación puede observarse en la Figura 11 como uno de los puntos importantes en el mapa. A partir de la Figura 38 se determina que para el mes de febrero la velocidad es la mayor, con un promedio de 20,52 km/h, mientras que la menor corresponde al mes de octubre. El comportamiento observado corresponde a una alta velocidad en los primeros meses del año y luego baja hasta finalmente volver a incrementar a partir de octubre.

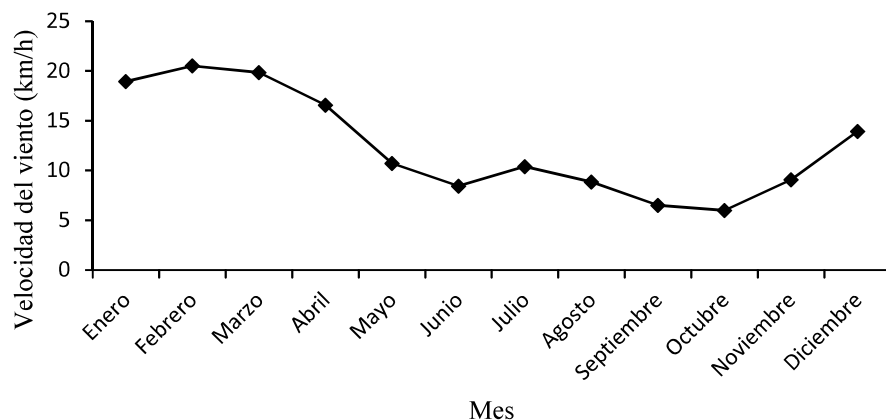


Figura 38. Velocidad mensual promedio del viento medido en la estación meteorológica de Hacienda Mojica.

Observando la Figura 25 se puede mencionar que la zona de Cañas se ubica a sotavento, es decir, en la dirección opuesta de donde proviene el viento. En la Figura 39 se comprueba lo anterior por medio de un modelo computacional de viento para el 17 de noviembre de 2017, como se muestra en la esquina inferior derecha.

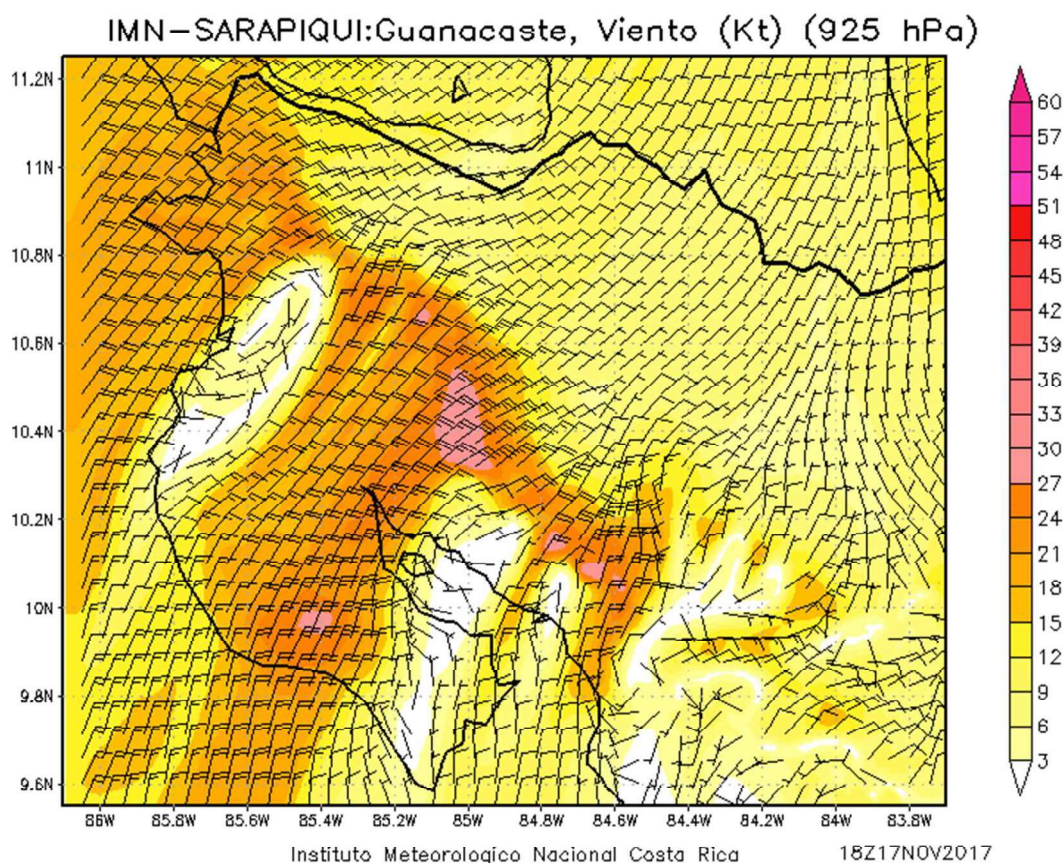


Figura 39. Modelo computacional del viento en Guanacaste para el 17 de noviembre de 2017. Fuente: (IMN, 2017).

Una vez comprendidas las características anteriores, a partir de la Figura 39 se puede determinar que la dirección predominante del viento para ese caso en noviembre es de noreste a suroeste. Aunado a lo anterior es evidente cómo después de que el viento atraviesa las montañas, su velocidad aumenta considerablemente pasando de velocidades entre 9 y 12 km/h hasta alcanzar velocidades entre los 24 y 27 km/h. Incluso se muestra que en la zona

donde se localiza el paso de montaña identificado en el cantón de Cañas, por medio de la Figura 25, las velocidades son mayores y alcanzan hasta 39 km/h en algunos puntos.

En el sector de Esparza durante el mismo mes se obtiene que la velocidad del viento es en algunos puntos menor a los 3 km/h y se encuentra entre dos zonas en las cuales se incrementa la velocidad, esto podría ser ocasionado debido a que se encuentra a sotavento protegido por parte de la cordillera volcánica de Tilarán.

Para analizar el caso en un día del mes en el que la velocidad del viento en la zona de Cañas es mayor, se utiliza el modelo para el día 15 de febrero de 2018 a las 00Z. En este se logra observar que la dirección con la que ingresa el viento al país es de noreste a noroeste con velocidades entre los 18 y los 27 km/h en la zona central y de hasta los 39 km/h en la zona de Guanacaste, sin embargo, en el momento en el que el viento choca con las montañas de la cordillera de Guanacaste el viento alcanza valores incluso mayores a los 60 km/h. Para el cantón de Esparza ocurre la misma situación al momento en el que el viento choca con las montañas de la cordillera de Tilarán, en donde el viento toma velocidades desde los 18 hasta los 39 km/h.

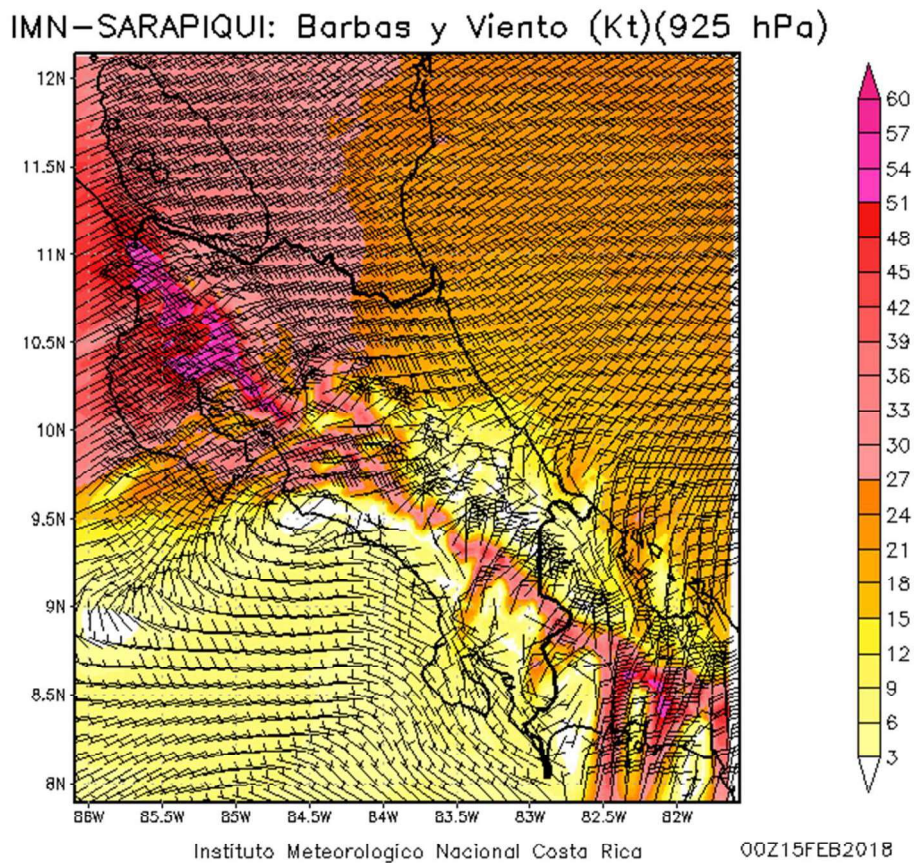


Figura 40. Modelo computacional del viento en Guanacaste para el 15 de febrero de 2018. Fuente: (IMN, 2018).

A partir de la información anterior es posible determinar que el viento que ingresa al país en los cantones de Cañas y de Esparza presentan una componente del este y al atravesar los pasos de montaña la velocidad con la que el viento sale de ellos se incrementa considerablemente. De acuerdo con el Instituto Meteorológico de Costa Rica en el documento “*Sobre algunos fenómenos meteorológicos en Costa Rica*” (s.f.), esta situación puede ser explicada por medio del Principio de Conservación de la Masa, que establece que un ensanchamiento en la región de la que sale el viento en un paso de montaña provoca que el flujo se distribuya de forma horizontal y se vuelva menos denso, esto causa que en los niveles inferiores la presión se disminuya y contribuya en la formación de un diferencial de presión en la región de salida y según el efecto de Venturi, una diferencia en las presiones implica el aumento de la velocidad del flujo. En la Figura 41 se puede observar lo anteriormente descrito de manera más visual y para facilitar la comprensión, se aprecia cómo

el viento al pasar a través de un paso de montaña o por medio de una zona con un área menor a la que tiene, el viento incrementa su velocidad.

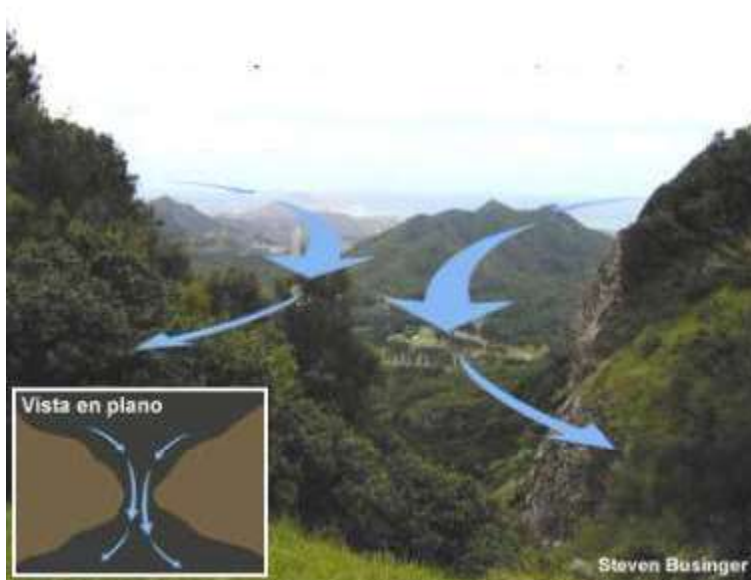


Figura 41. Efecto de Venturi en pasos de montaña. Tomado de IMN (s.f.).

Por otra parte, los modelos de reanálisis elaborados con datos promedios comprendidos entre 1981 y el 2010, permiten corroborar la componente horizontal al utilizar viento zonal, es decir, permite identificar si un viento proviene del este o del oeste, esto se indica en la escala de colores de la parte inferior del modelo, si el valor es negativo indica que es un viento del este mientras que si es positivo indica que es un viento del oeste y se presentan la velocidad en metros por segundo.

Las escalas presentadas en la parte inferior de los modelos de la Figura 42 y de la Figura 43, se pueden interpretar de la siguiente manera, el cero representaría una velocidad mínima del viento en metros por segundo y a partir de ahí se ve incrementada ya sea con una tendencia hacia el este o una tendencia hacia al oeste, en ambos casos proveniente del norte, el negativo en el lado izquierdo del cero representa las velocidades que lleva el viento que se dirige hacia el este, mientras que los valores positivos representan la velocidad con componente oeste. Es importante aclarar que las velocidades negativas no existen, por lo que ese menos delante del valor hace referencia únicamente a la dirección (hacia el este o hacia el oeste) que lleva el mismo. Por lo que una zona marcada con un color morado oscuro se

puede interpretar como una en la que el viento alcanza velocidades por encima de los 8 m/s en dirección noreste, mientras que una zona con color rojo representaría una que alcanza velocidades superiores a los 2 m/s hacia el noroeste.

En el mes de febrero, correspondiente al de mayor viento en Guanacaste y en especial en Cañas, se determina por medio de la Figura 42, que existe una componente horizontal proveniente del este en Cañas y que se pueden alcanzar velocidades de 7 u 8 m/s. En el cantón de Esparza el modelo indica que el viento también proviene del este y las velocidades son de aproximadamente 6 m/s.

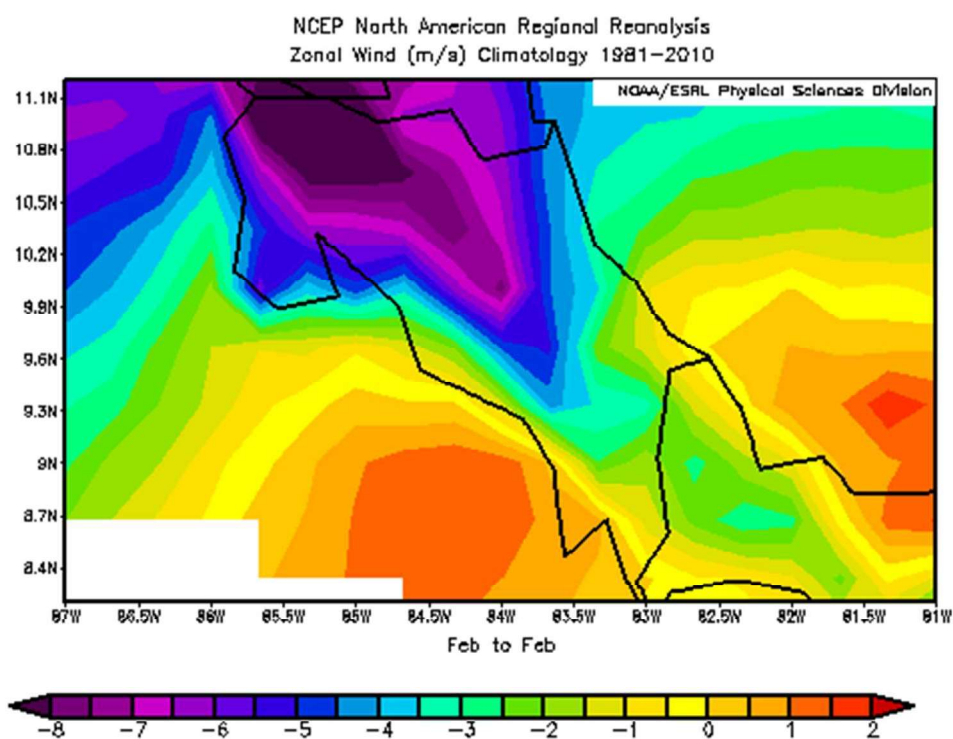


Figura 42. Modelo de viento creado por reanálisis del mes de febrero. Fuente de los datos: NOAA

Con el fin de comprobar la situación que ocurre en el mes determinado como el de menor velocidad del viento se genera el modelo de la Figura 43. Este modelo permite comprobar que las velocidades representadas en él son mucho menores a las de febrero, sin embargo, en octubre también el viento tiene una predominancia del este en los dos cantones estudiados.

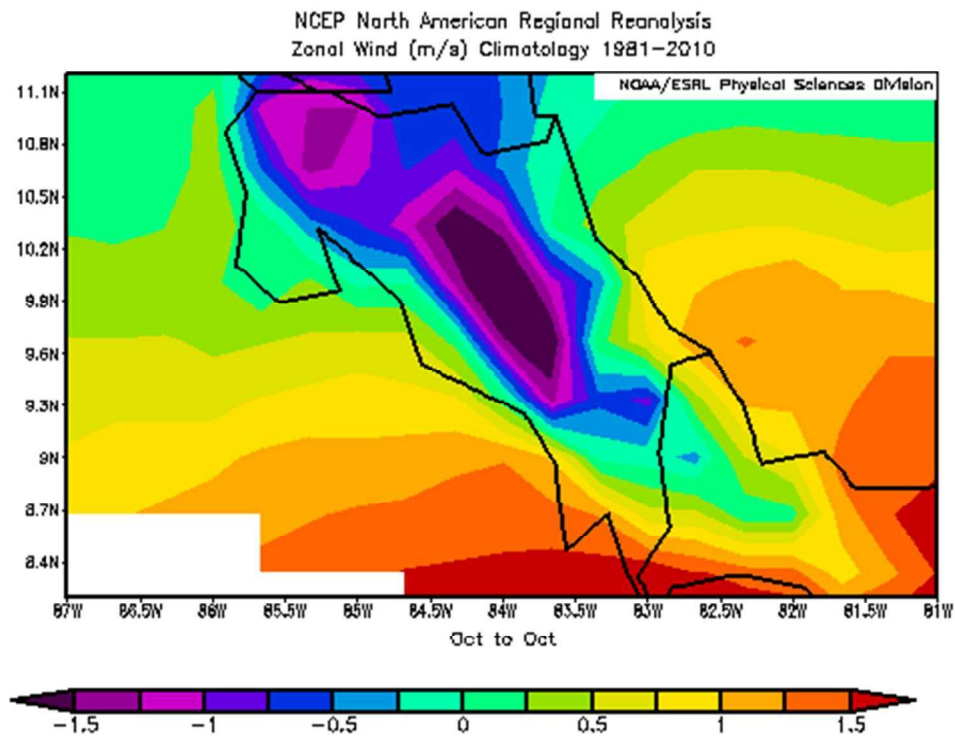


Figura 43. Modelo de viento creado por reanálisis del mes de octubre. Fuente de los datos: NOAA

El análisis de los modelos de dirección y velocidad del viento han permitido comprobar que el viento predominante en la zona de Cañas y Esparza presentan una componente del noreste y que se dirige con dirección al suroeste pasando a través de las cordilleras montañosas de Guanacaste y de Tilarán respectivamente, acelerando el viento en los pasos de montaña y al llegar, en el caso de Cañas, con una mayor velocidad a la población que se ubica en las faldas de las montañas. Este incremento en la velocidad del viento puede ser explicado por medio del efecto anteriormente mencionado, en donde debido a que el viento proveniente de un punto con un área mucho mayor al área por la que debe pasar en el área volcánica montañosa incrementa su velocidad y en el modelo se aprecian zonas de color morado.

El periodo de quema de caña de azúcar en la zona de Cañas realizado entre los meses de noviembre a marzo podría implicar que el viento se encargue del transporte y la dispersión de partículas y sustancias que se encuentren en el suelo y el aire cuando este atraviesa las montañas y sale con una mayor velocidad, esto hasta ser depositadas de acuerdo con su

tamaño, peso y distancia recorrida en diferentes zonas en la dirección suroeste a la que se dirige el viento. Una de estas poblaciones es la del distrito de Cañas, que como se observa en la Figura 25, se encuentra en la dirección mencionada.

Además, el cantón de Bebedero también se localiza en dirección suroeste del flujo de viento, pasando antes por los cañales identificados en la Figura 20, por lo que en el periodo de quema de caña de azúcar el viento podría transportar las partículas del suelo y las que resultan producto de la quema de los cañales e implicando un posible efecto en la salud de la población.

Para el cantón de Esparza el movimiento del viento, en cuanto a su dirección, ocurre de forma distinta por la ubicación de la cordillera de Tilarán y no afecta a la población directamente ni pasa por zonas con cultivos de caña de azúcar antes de impactar a las zonas con mayor densidad de población como se aprecia en la Figura 12.

5.3. DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO DE EXPOSICIÓN

La determinación del escenario de exposición de una población a tóxicos constituye un paso fundamental que ayuda a realizar un análisis de riesgo en una zona determinada. Para el riesgo sanitario de la población se puede considerar elaborar un índice compuesto de salud (ICS), el cual permite clasificarlo en bajo, medio o alto de acuerdo con los factores de exposición identificados y la vulnerabilidad social (Navoni, De-Pietri, Garcia & Villaamil-Lepori, 2012), también en nuestro país existe el Índice de Desarrollo Social a nivel cantonal y distrital, con el que se puede evaluar la vulnerabilidad de las diferentes poblaciones en cuanto a su desarrollo y condiciones económicas.

De acuerdo con Peña, Carter & Ayala-Fierro (2001), para un análisis de riesgo se deben considerar los factores mostrados en la Figura 44, ya que cada uno contribuye a determinar la exposición de una población específica a uno o más tóxicos. Para fines de este proyecto se analizaron las características físicas del sitio con el objetivo de caracterizar las posibles fuentes de tóxicos en el lugar, así como la descripción de factores a los que la población se expone a los tóxicos y que, en futuras investigaciones, permitirán realizar un posterior

monitorio ambiental de los mismos. También se describirá la población más vulnerable, que corresponde a la que presenta la mayor tasa de NM.

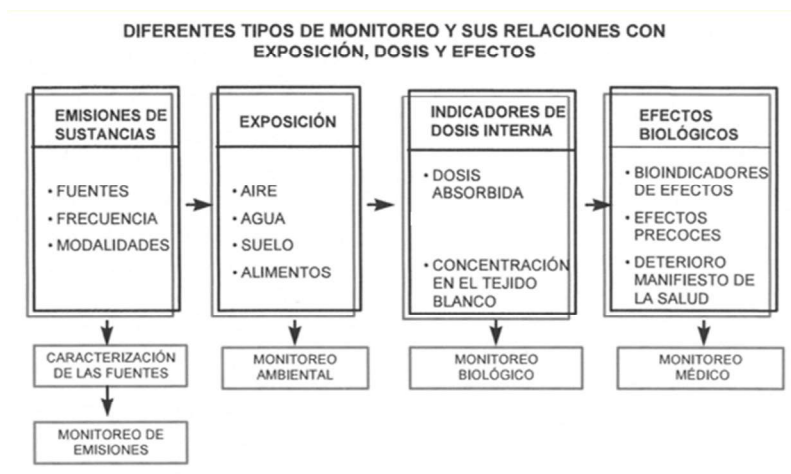


Figura 44. Diferentes tipos de monitoreo y sus relaciones con exposición, dosis y efectos. Tomado de Peña, Carter & Ayala-Fierro (2000).

5.3.1. Determinación de las características físicas

Las características físicas del cantón de Cañas fueron ampliamente detalladas en la sección 5.2, por lo que en este apartado se brinda un análisis fotográfico que permite identificar algunas de estas condiciones.

La topografía del suelo en el cantón de Cañas se caracteriza por ser regular en las zonas con mayor densidad de población y leves diferencias en las alturas de los terrenos. En la Figura 45 se muestra esta situación junto a las condiciones secas de la zona. La fotografía fue tomada a las afueras de la escuela El Vergel.



Figura 45. Topografía del suelo en Cañas.

Dentro de las características del suelo ultisol en las zonas bajas del cantón es que presenta erosión debido al efecto de las altas temperaturas de la zona, situación que se evidencia en la Figura 46.



Figura 46. Suelo en el distrito de Bebedero, Cañas, Guanacaste.

En cuanto a los cultivos de caña de azúcar, el cantón a lo largo de su extensión cuenta con gran cantidad de terrenos dedicados a esta actividad. El periodo de la visita correspondió en un momento en el que se realizó la quema de algunos terrenos en la etapa de recolección con la finalidad de deshacerse de la materia orgánica. En la Figura 47 se muestran las condiciones finales de uno de los terrenos después de la zafra, por lo que en se logra observar áreas negras cubiertas de hollín producto de la combustión de la materia orgánica.



Figura 47. Terreno después de la zafra.

Los cultivos de caña de azúcar en el cantón de Cañas comprenden extensas hectáreas continuas dedicadas a dicho cultivo. En la Figura 48 se muestran cultivos recientes en algunas de las fincas que se utilizan para esta actividad, además, en la misma se puede comprobar la regularidad del terreno y la ausencia de montañas en las zonas de siembra en el distrito de Bebedero.



Figura 48. Cultivos recientes de caña de azúcar.

El efecto del viento que se dirige en una dirección predominante de noreste a suroeste en la zona de Cañas provoca que la vegetación del lugar crezca inclinada o que sus hojas crezcan en la dirección que lleva el viento, esta situación también sirve como indicador de la gran velocidad que toma en viento y que pasa a través de los cañales y demás terrenos aledaños. La Figura 49 muestra la situación anteriormente descrita en una hilera de palmeras que divide dos terrenos cultivados con caña de azúcar en el sector de Bebedero de Cañas.



Figura 49. Efecto del viento sobre la vegetación.

Un factor importante que permite caracterizar la zona, y que se pudo observar durante la visita de campo, corresponde a que el viento acelerado atraviesa los terrenos en los que previamente se realizó la quema de la caña de azúcar para la etapa de recolección y levanta partículas del suelo transportándolas y dispersándolas por varias zonas. Esta situación se incrementa con la temperatura, ya que el suelo puede encontrarse erosionado, como en la Figura 46, ocasiona que las partículas sean más fáciles de levantar por acción del viento. Esta situación se puede observar en la Figura 50.



Figura 50. Levantamiento del polvo por acción del viento. Fuente: Cubero (2018).

5.3.2. Descripción de la población

En cuanto a la descripción de la población se obtiene que el cantón de Cañas comprende los distritos de Bebedero, Cañas, Palmira, Porozal y San Miguel. En la Figura 51 se logra observar espacialmente la ubicación de cada uno de ellos.

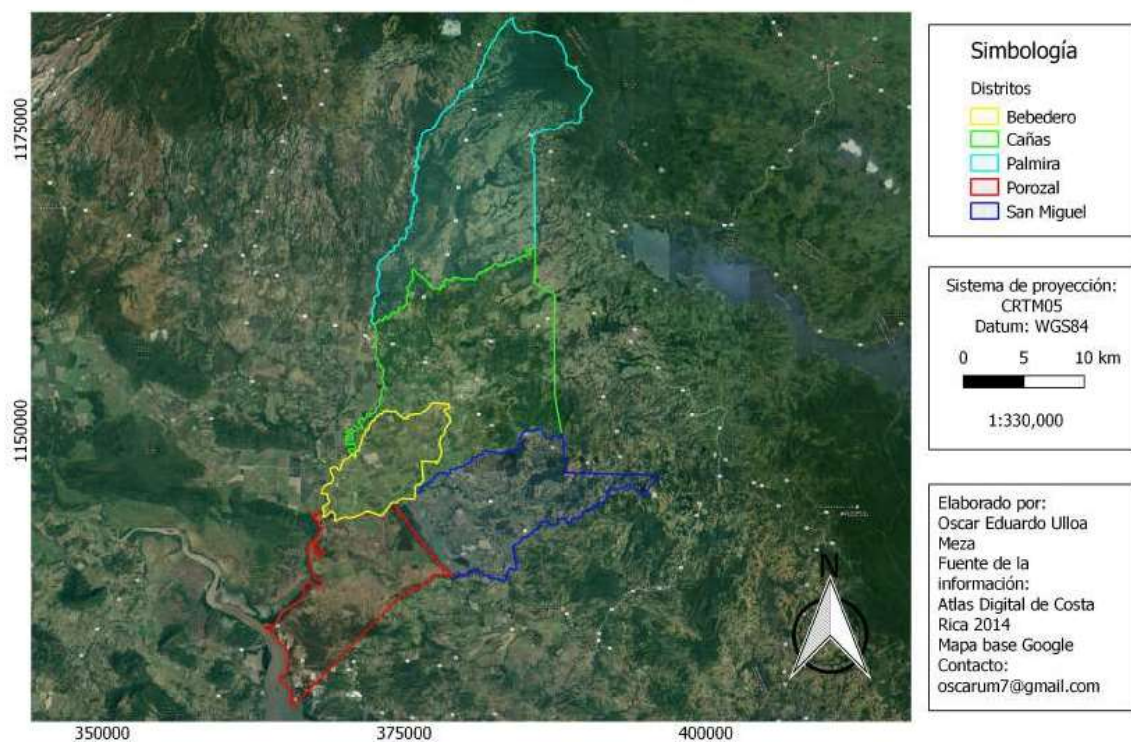


Figura 51. Distritos del cantón de Cañas, Guanacaste.

De acuerdo con el INEC (2012), el terreno comprende una superficie de 682,2 km² y tiene una población de aproximadamente 26 021 habitantes. En el Cuadro 10 se muestran estas y otras características demográficas y geográficas del cantón de Cañas.

Cuadro 10. Características demográficas y geográficas del cantón de Cañas.

Característica	Valor
Población (habitantes)	26 021
Superficie (km ²)	682,2
Densidad de población (personas/ km ²)	38
Población urbana (%)	80

Fuente: INEC (2012)

La población en Cañas es mayoritariamente femenina y adolescente, con edades entre los 10 y 14 años para ambos sexos. Sin embargo, en el distrito de Bebedero la población es mayoritariamente de sexo masculino. De la Figura 52, se puede obtener que la población en el cantón corresponde a una población joven, siendo esto un factor importante en la NM.

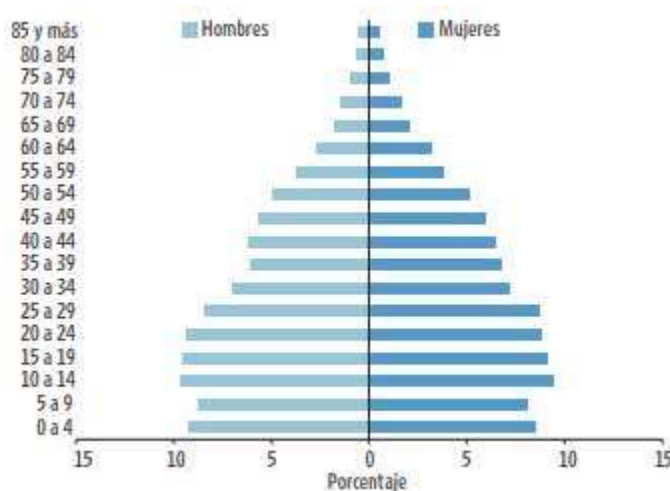


Figura 52. Población por sexo y edad en el cantón de Cañas. Tomado de INEC (2012).

De acuerdo con Navoni, De-Pietri, Garcia & Villaamil-Lepori (2012), para el análisis de riesgo de una población se debe considerar como un factor determinante el sexo de la población, ya que ha sido asociada con el metabolismo del arsénico, presentando en las mujeres un perfil de metilación más eficiente y por lo tanto eliminándolo más fácilmente que en los hombres. Esta razón podría ser asociada con la presencia de la NM en pacientes mayoritariamente hombres, sin embargo, se cuenta únicamente con datos de la presencia de arsénico en agua y se debería también analizar su existencia en el suelo que es ingresa al organismo de la población por medio del viento y la ingesta de alimentos.

Un factor social que se puede utilizar para describir a la población en el cantón es en cuanto al nivel educativo. En la Figura 53 se muestra gráficamente las proporciones de la población y el grado educativo que poseen de acuerdo con el último censo a la población elaborado por el INEC, en este se demuestra que la mayor parte la población cuenta únicamente con primaria completa.

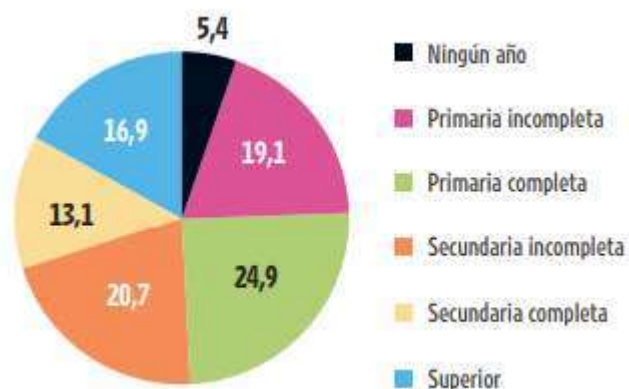


Figura 53. Nivel educativo de la población en el cantón de Cañas. Tomado de INEC (2012).

Dentro de las actividades económicas que se desarrollan dentro del cantón de Cañas se encuentra la agricultura, ganadería, industria y el comercio donde una de las más conocidas corresponde al Ingenio Taboga, también se realizan actividades como la acuicultura, cultivo de tilapias (Inder, 2016).

La situación de pobreza de una población y su menor acceso a una atención médica oportuna puede incrementar su susceptibilidad a enfermarse por exposiciones a uno o más tóxicos ambientales, por lo que corresponden a factores de vulnerabilidad considerados en los análisis de riesgo (Navoni, De-Pietri, Garcia & Villaamil-Lepori, 2012). A partir de la visita realizada se pudo observar que predominaban las viviendas como la de la Figura 54. Vivienda en el distrito de Bebedero, Cañas, Guanacaste., indicando que son zonas vulnerables y que probablemente sus ingresos económicos son menores a los de un hogar promedio. De acuerdo con la información proporcionada por los habitantes de la zona, la mayoría de los que viven en el distrito de Bebedero se dedican a la agricultura, específicamente de caña, en las zonas aledañas a la de mayor densidad poblacional.



Figura 54. Vivienda en el distrito de Bebedero, Cañas, Guanacaste.

La ubicación por GPS de algunas de las escuelas permite ubicarlas geográficamente a lo largo del cantón, esta situación es de importancia ya que corresponden a los lugares en los que se encuentra localizada la población joven y puede ser utilizada en posteriores estudios sobre la afectación de la NM en los niños y jóvenes. Esta información se encuentra representada en la Figura 55, en donde se puede ubicar la posición de cada una de las escuelas visitadas, visualizando que la mayoría de estas se ubican donde se encuentra la mayor densidad de población, es decir, en el centro de cantón y específicamente en el distrito de Cañas.

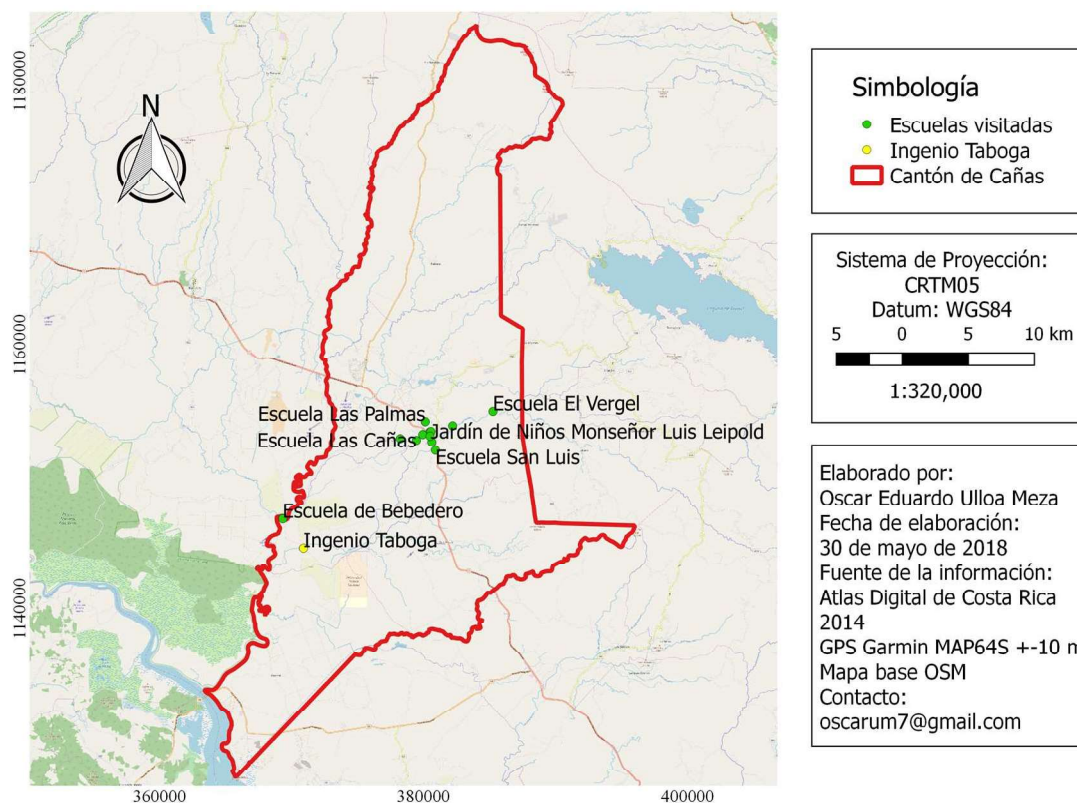


Figura 55. Escuelas mapeadas en el cantón de Cañas, Guanacaste.

5.3.3. Análisis del modelo matemático elaborado

Por medio de los resultados de la regresión de los mejores subconjuntos se obtuvo que para las variables (cuantitativas) de la altura, IDS, las hectáreas de caña de azúcar cultivadas y las hectáreas de caña de azúcar quemadas con respecto a la tasa de la enfermedad, se pueden escoger dentro del modelo los cuatro factores o bien puede excluirse la tasa las hectáreas de caña de azúcar cultivadas. Lo anterior se determinó por medio del valor de r^2 , el cual se define como el porcentaje del comportamiento de la variable dependiente (tasa de la enfermedad) que se explica con el comportamiento de las otras variables y es utilizado para determinar si el modelo se ajustará a los datos empleados. Entre mayor sea el r^2 o más cercano sea al 100%, mejor se ajustarán los valores, para los dos casos mencionados se obtuvo el mayor porcentaje de 45,9%, sin embargo, aún era necesaria la adición de las variables categóricas de la presencia de arsénico en el agua en algún momento, la velocidad del viento en un día

específico del mes de febrero que concuerde con el del peor escenario posible y la presencia o ausencia del suelo de tipo andisol en la zona.

Se decidió proceder con las cuatro variables cuantitativas ya que se demostró que era una posibilidad viable para que el modelo se ajustara a los datos. Además, se obtuvo un r^2 del 93,54%, indicando un muy buen ajuste del modelo matemático.

Para verificar los datos se obtuvieron los gráficos mostrados en la Figura 56. La gráfica de probabilidad normal indica la existencia de algún dato que presente un comportamiento no normal que impida que el modelo se adecue correctamente, sin embargo, se obtuvo a un 95% de confianza que los valores son normales. La gráfica de comparación de los residuos, los cuales corresponden a la diferencia entre los valores de la tasa de la enfermedad mostrada en la Figura 6 (real) y la tasa de la enfermedad predicha por el modelo mediante las variables empleadas, se utiliza para la determinación de una varianza no constante, es decir, los valores deben encontrarse distribuidos de manera aleatoria para poder ser utilizados ya que no demuestran la existencia de una, lo mismo ocurre en la gráfica de comparación de las variables. En el caso del histograma, es un gráfico de la distribución de las frecuencias de los residuos obtenidos por el software que no brinda más información para el modelo.

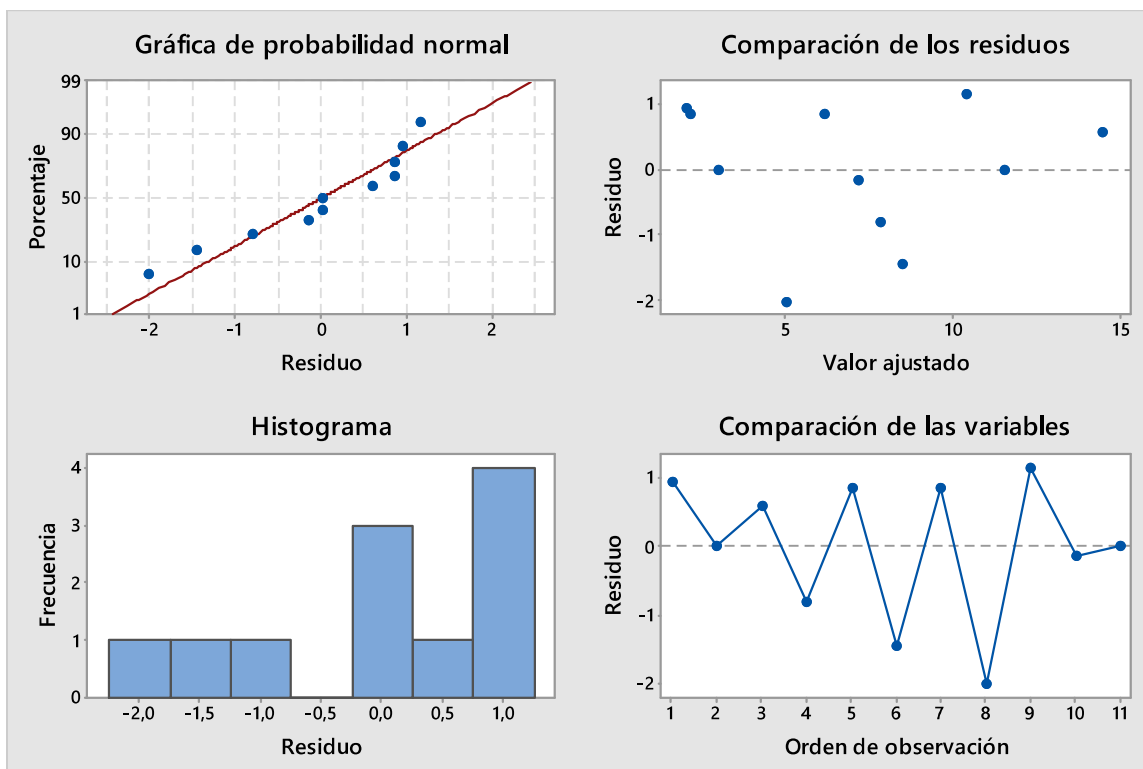


Figura 56. Gráficas de residuos para la tasa de la enfermedad real.

Es de esta manera que se logran determinar las ecuaciones que pueden ser utilizadas para determinar el comportamiento de la tasa de la enfermedad si se cambian los valores de las variables utilizadas y dependiendo del ámbito en el que se encuentren las variables categóricas. La ecuación 3 representa la que puede ser utilizada para Cañas, el cual corresponde al cantón de interés del presente proyecto.

Tasa de la enfermedad

$$= 8.95 - 0.0431 \times \text{Altura} - 0.0345 \times \text{hectáreas de caña cultivadas} \\ + 0.0425 \times \text{hectáreas de caña quemada} + 0.302 \times \text{IDS}$$

Ecuación 3.

A pesar de lo anterior, es importante destacar que se utilizó una cantidad similar tanto de variables como de cantones para la elaboración del modelo matemático, lo que constituye una limitante para la determinación de las significancias que tienen dichas variables con la enfermedad, aún estableciendo que existe una buena correlación entre los datos y un buen grado de predicción del modelo. Dicha observación se debe al valor p , el cual representa la probabilidad de conseguir una diferencia mayor de la observada, permitiendo establecer que no existe diferencia real en la población de la que proceden los valores (Molina, 2017). Lo ocurrido consistió en que se obtuvo resultados para el valor p mayores al 0,05, por lo que no es posible afirmar con una confianza de un 95% o más la relación de estas variables.

Como dicho valor depende totalmente del número de cantones que se utilizaron y al comprobarse que existe una buena correlación entre los datos y un buen grado de predicción, se cree que si se utilizan más datos de cantones el modelo podría ajustarse de mejor manera y brindar relaciones que puedan ser reportadas a un 95% de confianza.

Si se analiza la ecuación 3, es posible determinar que algunas de las variables no son posibles de modificar, por lo que se debe trabajar con las que si es posible con la finalidad de reducir la tasa de la enfermedad en la población. Queda claro que los factores que se descartarían, ya que resultan constantes, los categóricos que son la presencia de suelo de tipo andisol, vientos con velocidades mayores a 51 km/h y la presencia en algún momento de arsénico en el agua de la zona, así como la variable numérica de la altura del lugar. Por lo tanto, se debe pensar en trabajar con las hectáreas de caña de azúcar tanto cultivadas como quemadas y el IDS.

El cantón de Cañas y principalmente el distrito de Bebedero representan una zona principalmente dedicada a la agricultura y, como se mostró en la Figura 20, la mayor parte del terreno se emplea para el cultivo de la caña de azúcar, siendo a su vez un sustento económico importante para las familias de la zona. Esta situación crea un inconveniente para la modificación de esta variable y generar una posible solución que limite o sustituya la agricultura de este tipo de cultivo. Un factor que si es posible evaluar consiste en la quema de las hectáreas de caña de azúcar, donde idealmente se puede reducir la quema paulatinamente mientras se implementa un tipo de recolección ambientalmente más amigable, disminuyendo así las implicaciones en la salud de las poblaciones vulnerables.

Para esto se podría recurrir a la búsqueda de alternativas durante la zafra que permitan obtener los mismos fines que la quema, pero con menos impactos.

En países más desarrollados como Holanda se han llegado a utilizar dispositivos aspiradores de partículas de hasta el orden ultrafino, provenientes de distintas fuentes, entre ellas la quema de biomasa (Envnity Group, 2018), por lo que aunque consista en un proyecto más ambicioso, se podría evaluar la implementación de dispositivos que reduzcan la exposición de partículas provenientes de quemas o de origen geogénico a la población.

En cuanto a la ubicación de la población con respecto a los lugares en los que se cultiva y quema caña de azúcar y la dirección del viento, se podría evaluar la posibilidad de reubicar a la población en una zona en la que se vean impactados en menor medida por el conjunto de factores ambientales y geográficos que afectan de manera negativa su salud.

Todas las iniciativas anteriormente mencionadas se podrían llegar a plasmar por medio de políticas públicas a nivel nacional y municipal con la finalidad de disminuir el peso de los factores de riesgo a los que se encuentran sometidas las poblaciones vulnerables, crear un impacto positivo en los IDS en la zona y a su vez generar una posible disminución de las tasas de la Nefropatía Mesoamericana en Costa Rica.

5.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Durante la elaboración del presente proyecto se tuvieron una serie de limitaciones que imposibilitaron un abordaje integral y completo de algunos de los factores considerados. Otras de las limitaciones consistieron en fuentes de información poco accesibles y limitadas, tales como la ausencia de estudios de laboratorio sobre la composición química del polvo del Sahara en zonas distintas a la GAM, la inexistencia de una base de datos actualizada de las fallas geológicas a nivel del territorio nacional y la poca información sobre la composición de las partículas en la zona y de metales en el suelo.

Además de lo anterior, para el modelo matemático elaborado se tuvo la limitante de que, al incluir únicamente el número de cantones a nivel de la provincia de Guanacaste, los mismos resultaron ser muy pocos para poder reportar los datos con un 95% de confianza.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Dentro del cantón de Cañas se determina que Bebedero es el distrito que mayor tasa de Nefropatía Mesoamericana presenta, permitiendo delimitar la zona de futuros estudios a un área más reducida con el fin de estudiar el escenario de mayor riesgo toxicológico.

Las condiciones de temperatura, humedad y precipitación son similares en las zonas de alta y baja prevalencia, sin embargo, difieren en cuanto a la cantidad de hectáreas de caña de azúcar sembradas y el tipo de suelo predominante.

No se logra establecer una relación significativa entre la presencia de fallas geológicas en la zona de alta prevalencia de la enfermedad en Cañas.

El distrito de Bebedero corresponde a la zona más baja del cantón de Guanacaste, coincidiendo con ser el lugar que mayor tasa de NM presenta.

El análisis de los modelos de dirección y velocidad del viento permitieron comprobar que el viento predominante en la zona de Cañas y Esparza a lo largo del año van del noreste al suroeste atravesando las montañas y causando un efecto de aceleración del viento antes de llegar a los lugares de mayor densidad de población.

El viento atraviesa la zona montañosa en donde se ubican los volcanes y el tipo de suelo andisol, situación que podría implicar el transporte de partículas y componentes de este tipo del suelo por acción del viento hacia las distintas poblaciones del cantón.

A diferencia de Cañas, Esparza se encuentra protegida del viento por montañas al no haber irregularidades topográficas significativas como pasos de montaña que aceleren el viento, esto se refleja en velocidades menores que en Cañas.

La etapa de la quema de caña de azúcar durante la zafra en Cañas durante los meses de noviembre a marzo concuerda con el periodo de mayor velocidad del viento en el cantón, por lo que el viento acelerado podría transportar y la dispersar las partículas y sustancias que se encuentren en el suelo de los cañales hasta la población en riesgo pudiendo tener una relación con las tasas de prevalencia de la NM.

El escenario de exposición refleja que la población más vulnerable a la enfermedad es de bajos recursos económicos, una escolaridad mayoritariamente incompleta y joven.

El modelo de regresión de los mejores subconjuntos permitió obtener una ecuación que describe los datos utilizados en un 93,54% y que permite relacionar los factores ambientales y geográficos en el cantón de Cañas con la tasa de la enfermedad, obteniendo una buena correlación de los factores y un buen grado de predicción del modelo a pesar de que la limitante del número de cantones utilizados no permita reportar los valores a un 95% de confianza o más.

6.2. RECOMENDACIONES

Continuar con el estudio de la NM en el cantón de Cañas y principalmente en el distrito de Bebedero en miras a contribuir en la salud de la población afectada por la enfermedad.

Identificar y cuantificar las partículas que son desplazadas por el viento hasta el distrito de Bebedero, realizando muestreos antes de que el viento pase la población y después de esto con el fin de comprobar si la composición es la misma.

Replantear el enfoque de los estudios futuros en cuanto a las fallas geológicas con el fin de determinar cómo se podrían relacionar con la composición de las partículas.

Evaluar la posibilidad de instalar colectores de partículas con el fin de realizar análisis de su composición química.

Determinar las concentraciones de arsénico y otros metales en el suelo de la zona de Cañas que puedan tener incidencia en la tasa de la NM.

Valorar y cuantificar el aporte del polvo del Sahara que podría ser desplazado por el viento hasta el cantón de Cañas.

Utilizar un modelo predictivo de viento para la determinación del día para realizar el muestreo de aire con el fin de que sea uno de los más ventosos del mes de febrero.

Seguir utilizando herramientas SIG y modelos computacionales para la comparación espacial de variables ambientales y geográficas ya que permiten un manejo más sencillo de la información.

Evaluar la posibilidad de implementar políticas públicas a nivel nacional y municipal que permitan disminuir las tasas de la NM en el país, por medio de la disminución de las hectáreas de caña de azúcar quemadas, la implementación de tecnología que reduzca la exposición de partículas a la población y la reubicación de la población.

7. REFERENCIAS

- Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). (2006). *Jornadas Iberoamericanas del impacto del arsénico sobre la salud de poblaciones iberoamericanas: Herramientas para la evaluación y manejo de riesgos*. Curso AECI: Santa Cruz de la Sierra.
- Aguilar, R. (2011). “*Competitividad de la Agroindustria Azucarera de la Huasteca México*”. (Tesis de doctorado en ciencias ambientales). Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Allison, S. J. (2014). Acute kidney injury: Acute kidney injury associated with burnt sugarcane harvesting. *Nature Reviews Nephrology*, 10(12), 676-676.
- Almaguer, M., Herrera, R., & Orantes, C. M. (2014). Chronic kidney disease of unknown etiology in agricultural communities. *MEDICC review*, 16(2), 09-15.
- Alvarado, P. (s.f.). *Arsénico en el agua subterránea en Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Arce, J. (2016). *¿Por qué llega el polvo del Sahara a Costa Rica?* AMPresa.com. Recuperado de <http://www.amprensa.com/2016/07/llega-polvo-del-sahara-costarica/>
- Arley, A. (2016). *Litiasis urinaria*. San José: Cátedra de Cirugía de la Universidad de Costa Rica.
- Asociación Costarricense de Ingenieros Ambientales. (2016). *Perfil del profesional en Ingeniería Ambiental*. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. Recuperado de http://cfia.or.cr/descargas/2016/perfiles/perfil_profesional_ingeniero_ambiental_citec.pdf
- Bermúdez, R. M., García, S. G., Surribas, D. P., Castelao, A. M., & Sanjuán, J. B. (2011). Consensus document. Recommendations on assessing proteinuria during the diagnosis and follow-up of chronic kidney disease. *Nefrología*, 31(3), 331-45.

- Briceno, J., Herrera, J., Solórzano, D., Rojas, J., Beita, V., & Chinchilla, J. (2015). Determination of the Impact to air quality by the sugar cane burning during harvesting in Costa Rica: regional and temporal analysis. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Bunnell, J. E., Karlsen, A. W., Finkelman, R. B., & Shields, T. M. (2013). GIS in human health studies. In *Essentials of Medical Geology* (pp. 635-645). Springer, Dordrecht.
- Bundschuh, J., Maity, J. P., Mushtaq, S., Vithanage, M., Seneweera, S., Schneider, J., ... & Reardon-Smith, K. (2017). Medical geology in the framework of the sustainable development goals. *Science of The Total Environment*.
- Campese, V. M. (2016). The Mesoamerican nephropathy: A regional epidemic of chronic kidney disease? *Nephrology Dialysis Transplantation*, 31(3), 335–336. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfv430>
- Chavez, M., & Chavarría, E. (2012). *¿Cómo se distribuye y dónde se cultiva territorialmente la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica?*, (506), 1–53.
- Comisión Permanente del Pacífico Sur. (2018). *Mapas de viento*. Guayaquil. Recuperado de <http://cpps-int.org/index.php/mapas-de-viento>
- Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA). (2015). *Ficha Técnica Del Cultivo De La Caña De Azúcar (Saccharum officinarum L.)*. Estados Unidos Mexicanos: SAGARPA.
- Cordero, D. J., & Barahona, R. C. (2015). Código de viento para Costa Rica. *Boletín estructuras* (5), 9. Recuperado de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/PIE/boletines/boletin-05.pdf>
- Correa-Rotter, R., Wesseling, C., & Johnson, R. J. (2014). CKD of unknown origin in Central America: the case for a Mesoamerican nephropathy. *American Journal of Kidney Diseases*, 63(3), 506-520.

- Cruz, A. (2015). *Estudios de efectos del polvo del Sahara en Puerto Rico*. Universidad de Puerto Rico, Departamento de Geología.
- Cubero, A. (2018). Fotografía del levantamiento del polvo por acción del viento. [Figura].
- DeWitt, J. C., Buck, B. J., Goossens, D., Teng, Y., Pollard, J., McLaurin, B. T., ... & Keil, D. E. (2016). Health effects following subacute exposure to geogenic dust collected from active drainage surfaces (Nellis Dunes Recreation Area, Las Vegas, NV). *Toxicology Reports*.
- Dobeck, M. (2010). *Volcanoes: Nature's awesome power*. Pelham, NY: Benchmark Education Co.
- Envity Group. (2018). *Envnity Group: The future is clear*. Recuperado de Envntity Group Web site: <https://envnitygroup.com>
- Escalante-Gómez, C., Zeledón-Sánchez, F., & Ulate-Montero, G. (2007). Proteinuria, fisiología y fisiopatología aplicada. *Acta Médica Costarricense*, 49(2), 83-89.
- Flores, J. (2007). Agrocadena de la caña de azúcar para la producción de dulce. *Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Central Sur. Puriscal*.
- Fogo, A. B., & Kashgarian, M. (2016). *Diagnostic atlas of renal pathology*. Elsevier Health Sciences.
- Frontera, W. R., Silver, J. K., & Rizzo Jr, T. D. (2014). *Essentials of physical medicine and rehabilitation*. Elsevier Health Sciences.
- Gajos, M., & Sierka, E. (2012). GIS technology in environmental protection: research directions based on literature review. *Pol. J. Environ. Stud*, 21(2), 241.
- García-Trabanino, R., Badilla-Porras, R., Carazo, K., Courville, K., de Luna, E., Lemus, P., ... & de Castillo, E. R. (2017). Consenso del Grupo Centroamericano y del Caribe para

el Estudio y Tratamiento de la Enfermedad de Fabry. *Nefrología Latinoamericana*, 14(1), 27-38.

Hue, N. V. (2013). Arsenic chemistry and remediation in Hawaiian soils. *International journal of phytoremediation*, 15(2), 105-116.

Instituto de Desarrollo Rural (INDER). (2016). *Plan de Desarrollo Rural Territorial*. San José: INDER

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2017). Modelo computacional del viento en Guanacaste en noviembre de 2017. San José: IMN.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2018). Modelo computacional del viento en Guanacaste en febrero de 2018. San José: IMN.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2018). *Weather Research & Forecasting System (120 h) WRF Especificaciones técnicas del modelo*. San José. Tomado de: <http://wrf.imn.ac.cr/modelo.html>

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (s.f.). *Sobre algunos efectos meteorológicos en Costa Rica*. San José. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Compendio+sobre+fen%C3%B3menos+meteorol%C3%B3gicos>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2012). *X Censo Nacional de Población y IV de Vivienda 2011: Características sociales y demográficas*. San José: INEC.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2012). *Indicadores cantonales Censos Nacionales de Población y Vivienda 2000 y 2011*. San José: INEC.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2014). *Atlas Agropecuario VI Censo Agropecuario*. San José: INEC.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. México.
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2015). *Suelos de Costa Rica Orden Andisol*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1828.PDF>
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2015). *Suelos de Costa Rica Orden Ultisol*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1902.PDF>
- Irfan, T. Y. (1999). Characterization of weathered volcanic rocks in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 32(4), 317-348.
- Iwafuchi, Y., Morita, T., Morioka, T., Kamura, T., Oyama, Y., & Narita, I. (2015). Oligomeganephronia in an Adult Presenting With Features of Chronic Kidney Disease. *Journal of Medical Cases*, 6(8), 362-366.
- Jayasumana, C., Gunatilake, S., & Senanayake, P. (2014). Glyphosate, hard water and nephrotoxic metals: are they the culprits behind the epidemic of chronic kidney disease of unknown etiology in Sri Lanka?. *International journal of environmental research and public health*, 11(2), 2125-2147.
- Jayasumana, M. a. C. S., Paranagama, P. a., Amarasinghe, M. D., Wijewardane, K. M. R. C., Dahanayake, K. S., Fonseka, S. I., ... Senanayake, V. K. (2013). Possible link of Chronic arsenic toxicity with Chronic Kidney Disease of unknown etiology in Sri Lanka. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(1), 64–73. Recuperado de <http://www.iiste.org/Journals/index.php/JNSR/article/view/4193>
- Keil, D. E., Buck, B., Goossens, D., Teng, Y., Pollard, J., McLaurin, B., ... & DeWitt, J. (2016). Health effects from exposure to atmospheric mineral dust near Las Vegas, NV, USA. *Toxicology Reports*, 3, 785-795.

- Kim, K. H., Lee, S. B., Woo, D., & Bae, G. N. (2015). Influence of wind direction and speed on the transport of particle-bound PAHs in a roadway environment. *Atmospheric Pollution Research*, 6(6), 1024-1034.
- Kumar, A., Gupta, I., Brandt, J., Kumar, R., Dikshit, A. K., & Patil, R. S. (2016). Air quality mapping using GIS and economic evaluation of health impact for Mumbai city, India. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(5), 470-481.
- Laws, R. L., Brooks, D. R., Amador, J. J., Weiner, D. E., Kaufman, J. S., Ramírez-Rubio, O., ... & Parikh, C. R. (2015). Changes in kidney function among Nicaraguan sugarcane workers. *International journal of occupational and environmental health*, 21(3), 241-250.
- Li, J., Li, C., Sun, H. J., Juhasz, A. L., Luo, J., Li, H. B., & Ma, L. Q. (2015). Arsenic relative bioavailability in contaminated soils: comparison of animal models, dosing schemes, and biological end points. *Environmental science & technology*, 50(1), 453-461.
- Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). (2018). Resultados de la zafra 2016 - 2017. Conexión (11).
- Lizano, O. G., & Alfaro, E. (2014). Dinámica atmosférica y oceánica en algunos sitios del Área de Conservación Guanacaste (ACG), Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 62, 17-31.
- López, D; A. Ribó; E. Quinteros; R. Mejía; A. López; C, Orantes. (2014). *Arsenic in soils, sediments and water in an area with high prevalence of chronic kidney disease of unknown etiology*. Arsenic in the environmental Proceedings. One Century of the Discovery of Arsenicosis in Latin America (1914-2014).
- López, E. M., González, T. A. O., Vega, E. F. C., & Santos, J. L. (2015). Nubes de polvo del Sahara. Su presencia en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(1).
- Lozier, M., Turcios-Ruiz, R. M., Noonan, G., & Ordunez, P. (2016). Chronic kidney disease of nontraditional etiology in Central America: a provisional epidemiologic case

definition for surveillance and epidemiologic studies. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 40(5), 294-300.

Manovich, L. (2010). What is visualization?. *The Journal of the Initiative for Digital Humanities, Media, and Culture*, 2(1).

Martínez-Castelao, A., Górriz, J. L., Bover, J., Segura-de la Morena, J., Cebollada, J., Escalada, J., ... & Hernández-Moreno, J. (2014). Documento de consenso para la detección y manejo de la enfermedad renal crónica. *Endocrinología y Nutrición*, 61(9), e25-e43.

Martins, A. (2018). *BBC Mundo*. Obtenido de Del Sahara al Amazonas: 4 fascinantes impactos del polvo del desierto que viaja miles de kilómetros para llegar a América Latina: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45019573>

Mattson, C. (2010). Fisiopatología Salud–enfermedad: un enfoque conceptual. *Buenos Aires: Panamericana*.

McDaniel, P.A., Lowe, D.J., Arnalds, O., Ping, C.L. (2012). *Andisols*. En Handbook of Soil Sciences. Segunda edición. Vol. 1: Properties and Processes. CRC Press, pp.33.29-33.48

Mielnicki, D., Canziani, P., Drummond, J., & Sckalany, J. (2005). *La quema de biomasa en Sudamérica vista desde el espacio*. Programa de Estudio de los Procesos Atmosféricos en el Cambio Climático.

Ministerio de Salud de El Salvador e Instituto Nacional de Salud. (2014). *Tema 7: Enfermedad Renal Crónica de Causas No Tradicionales. Abordaje integral para la prevención y atención de la Enfermedad Renal Tubulointersticial Crónica de Centroamérica*. Reunión del sector salud de Centroamérica y República Dominicana, julio 2013.

Moeller, D. P. (2012). *Mathematical and computational modeling and simulation: Fundamentals and Case Studies*. Springer Science & Business.

- Molina Arias, M. (2017). ¿ Qué significa realmente el valor de p?. *Pediatría Atención Primaria*, 19(76), 377-381.
- Montero-Campos, V., & Puente-Urbina, A. (2016). Continuous-Flow Removal of Arsenic in Drinking Water by Filtering down through Fe₃O₄@ SiO₂ Magnetic Composite. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(05), 619.
- Montero-Chacón, P. (2018). *Charla Enfermedad Renal Crónica y Nefropatía Mesoamericana*. Cañas.
- Murray, K. O., Fischer, R. S. B., Chavarria, D., Duttman, C., Garcia, M. N., Gorchakov, R., ... Sheleby, J. (2015). Mesoamerican nephropathy: a neglected tropical disease with an infectious etiology? *Microbes and Infection*, 17 (10), 671–675. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.micinf.2015.08.005>
- Nanzyo, M., Dahlgren, R., & Shoji, S. (1993). *Chapter 6: Chemical Characteristics of Volcanic Ash Soils. Volcanic Ash Soils - Genesis, Properties and Utilization*. 145–187. doi:10.1016/s0166-2481(08)70267-8
- National Center for Atmospheric Research (NCAR). (2018). *Weather Research And Forecasting Model*. Colorado. Recuperado de: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2018). *NARR Monthly/Seasonal Climate Composites*. San Diego. Recuperado de: <https://esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.narr.html#detail>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2018). *Oceanic Niño Index (ONI)*. Recuperado de: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Navoni, J. A., De-Pietri, D., Garcia, S., & Villaamil-Lepori, E. C. (2012). Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 31, 1-8.

- Nordberg, M., & Cherian, M. G. (2013). Biological responses of elements. En *Essentials of medical geology* (pp. 195-214). Springer, Dordrecht.
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 26(1), 16-25.
- Peña, C. E., Carter, D. E., & Ayala-Fierro, F. (2001). Toxicología ambiental: evaluación de riesgos y restauración ambiental. En *Toxicología ambiental: evaluación de riesgos y restauración ambiental*. The University of Arizona.
- Prado, G. F., Zanetta, D. M. T., Arbex, M. A., Braga, A. L., Pereira, L. A. A., de Marchi, M. R. R., ... & Gonçalves, F. T. (2012). Burnt sugarcane harvesting: particulate matter exposure and the effects on lung function, oxidative stress, and urinary 1-hydroxypyrene. *Science of the total environment*, 437, 200-208.
- Programa Estado de la Nación e INEC. 2013. *Indicadores cantonales*. San José, Programa Estado de la Nación e Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Quirós, M. (2015). “*Determinación del peor escenario de riesgo toxicológico de la insuficiencia renal crónica en Costa Rica basado en factores ambientales con relación al cultivo de caña de azúcar*”. (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Quirós, Y. (2010). Los SIG como herramienta para la toma de decisiones en la solución de problemas ambientales y dentro de la formación profesional en ciencias ambientales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 14 (41), 33-40.
- Raines, N., González Quiroz, M., Wyatt, C., Kurzrok, M., Pool, C., Lemma, T., ... Sheffield, P. (2014). Risk factors for reduced glomerular filtration rate in a nicaraguan community affected by mesoamerican nephropathy. *MEDICC Review*, 16(2), 16–22. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24878645>

- Recio, P. (2017). *Polvo del Sahara llega a Costa Rica y provoca cese de lluvias*. La Nación. Recuperado de: http://www.nacion.com/nacional/salud-publica/Polvo-Sahara-llega-provoca-lluvias_0_1625837437.html
- Red Sismológica Nacional (RSN). (2015). *Falla Cañas*. RSN. Recuperado de: <http://rsn.ucr.ac.cr/actividad-sismica/ultimos-sismos/57-sismologia/fallas-activas2/3364-falla-canass>
- Reglamento para el registro de plaguicidas de uso doméstico e industrial y fertilizantes de uso doméstico. Decreto N° 30043 - S. Diario Oficial La Gaceta, San José, Costa Rica, 5 de julio de 2011.
- Rhoades, R. A., & Bell, D. R. (Eds.). (2012). *Medical physiology: Principles for clinical medicine*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Roncal-Jimenez, C., García-Trabanino, R., Barregard, L., Lanaspá, M. A., Wesseling, C., Harra, T., ... & Weiss, I. (2016). Heat stress nephropathy from exercise-induced uric acid crystalluria: a perspective on Mesoamerican nephropathy. *American journal of kidney diseases*, 67(1), 20-30.
- Roncal-Jimenez, C. A., García-Trabanino, R., Wesseling, C., & Johnson, R. J. (2016). Mesoamerican Nephropathy or Global Warming Nephropathy? *Blood purification*, 41(1-3), 135-138.
- Rostami, A. A., Pithawalla, Y. B., Liu, J., Oldham, M. J., Wagner, K. A., Frost-Pineda, K., & Sarkar, M. A. (2016). A Well-Mixed Computational Model for Estimating Room Air Levels of Selected Constituents from E-Vapor Product Use. *International journal of environmental research and public health*, 13(8), 828.
- Santos, U., Zanetta, D. M. T., Terra-Filho, M., & Burdmann, E. A. (2015). Burnt sugarcane harvesting is associated with acute renal dysfunction. *Kidney International*, 87(4), 792–799. <https://doi.org/10.1038/ki.2014.306>

- Sellarés, V. (2012). Enfermedad renal crónica. *Nefrología al día*, 7(1). doi: 10.3265/Nefrologia.2010.pub1.ed80.chapter2802
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2013). Arsenic in groundwater and the environment. En *Essentials of medical geology* (pp. 279-310). Springer, Dordrecht.
- Solano, J. (2018). "*Estratigrafía y petrografía del plio-pleistoceno del Noroeste de costa rica: Formación Bagaces y lavas Pelón de la Bajura*". (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Solís, M. I. (2016). Países centroamericanos se apoyarán para tratar pacientes con enfermedad renal crónica. *Caja Costarricense de Seguro Social*. Recuperado de <https://www.ccss.sa.cr/noticia?países-centroamericanos-se-apoyaran-para-tratar-a-pacientes-con-enfermedad-renal-cronica>
- Solís, M. I. (2017). CCSS amplió atención a pacientes con enfermedad renal crónica en Cañas. *Caja Costarricense del Seguro Social*. Recuperado de <https://www.ccss.sa.cr/noticia?ccss-amplio-atencion-a-pacientes-con-enfermedad-renal-cronica-en-canas>
- Stevens, L. A., Schmid, C. H., Greene, T., Zhang, Y. L., Beck, G. J., Froissart, M., ... & Steffes, M. W. (2010). Comparative performance of the CKD epidemiology collaboration (CKD-EPI) and the modification of diet in renal disease (MDRD) study equations for estimating GFR levels above 60 mL/min/1.73 m². *American Journal of Kidney Diseases*, 56(3), 486-495.
- Stolz, W. (2018). *Modelación de vientos*. (O. Ulloa Meza, & V. Montero, Entrevistadores).
- Taylor, D. A. (2002). Dust in the wind. *Environmental Health Perspectives*, 110(2), A80.
- UNICEF. (2016). *Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia*. Recuperado de Clear the air for children: https://www.unicef.org/publications/files/UNICEF_Clear_the_Air_for_Children_30_Oct_2016.pdf

- Vindas, L. (2013). Exportaciones de alcohol de Costa Rica crecen gracias a demanda de Europa. *El Financiero*. Recuperado de <https://www.elfinancierocr.com/negocios/exportaciones-de-alcohol-de-costa-rica-crecen-gracias-a-demanda-de-europa/EKJTMW43BNE5DMMDQTBL3XEBEA/story/>
- Weinstein, P., Horwell, C. J., & Cook, A. (2013). Volcanic emissions and health. In *Essentials of medical geology* (pp. 217-238). Springer, Dordrecht.
- Wesseling, C., Aragón, A., González, M., Weiss, I., Glaser, J., Rivard, C. J., ... Johnson, R. J. (2016). Heat stress, hydration and uric acid: a cross-sectional study in workers of three occupations in a hotspot of Mesoamerican nephropathy in Nicaragua. *BMJ Open*, 6(12), e011034. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-011034>
- Wesseling, C., Crowe, J., Hogstedt, C., Jakobsson, K., Lucas, R., & Wegman, D. H. (2014). Resolving the enigma of the mesoamerican nephropathy: a research workshop summary. *American Journal of Kidney Diseases*, 63(3), 396-404.
- Wesseling, C., van Wendel de Joode, B., Crowe, J., Rittner, R., Sanati, N. A., Hogstedt, C., & Jakobsson, K. (2015). Mesoamerican nephropathy: geographical distribution and time trends of chronic kidney disease mortality between 1970 and 2012 in Costa Rica. *Occupational and Environmental Medicine*, 72(10), 714-721. DOI: 10.1136/oemed-2014-102799
- Wijkström, J., Leiva, R., Elinder, C. G., Leiva, S., Trujillo, Z., Trujillo, L., ... & Wernerson, A. (2013). Clinical and pathological characterization of Mesoamerican nephropathy: a new kidney disease in Central America. *American Journal of Kidney Diseases*, 62(5), 908-918.
- Witschey, W. R. T., & Brown, C. T. (2012). *Historical Dictionary of Mesoamerica*. Scarecrow Press.

- Wong, R., Cervantes, M., & Abarca, L. (2014). *Factores asociados a Enfermedad Renal Crónica, Región Chorotega*. Subárea de Vigilancia Epidemiológica. Caja Costarricense del Seguro Social.
- Wragg, J., Cave, M., Basta, N., Brandon, E., Casteel, S., Denys, S., ... & Van de Wiele, T. (2011). An inter-laboratory trial of the unified BARGE bioaccessibility method for arsenic, cadmium and lead in soil. *Science of the Total Environment*, 409 (19), 4016-4030.

APÉNDICES

APÉNDICE 1: MAPAS ADICIONALES

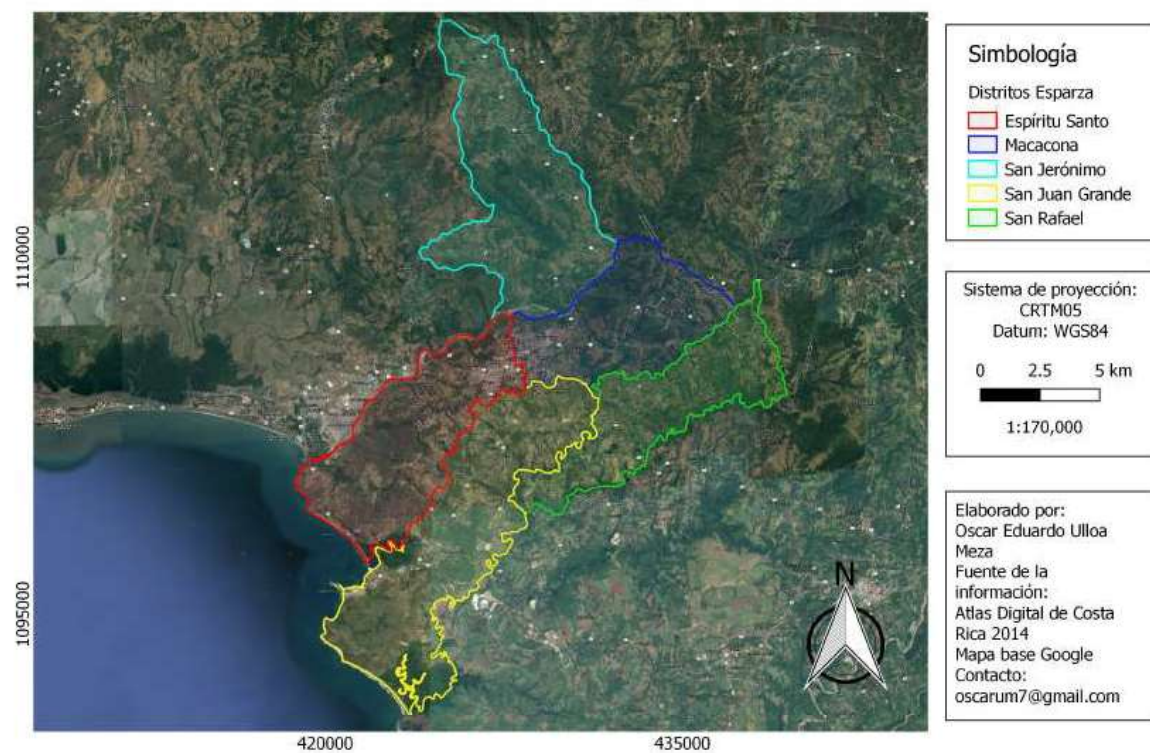


Figura A.1 Distritos del cantón de Esparza, Puntarenas.

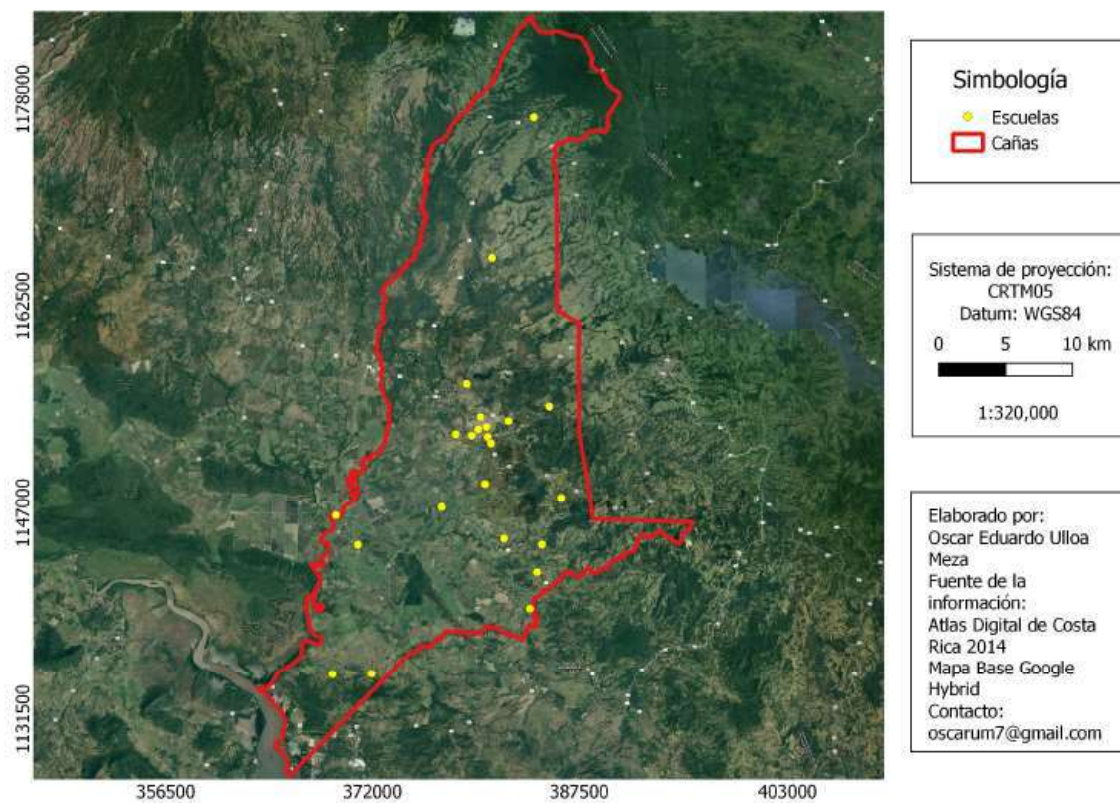


Figura A.2 Escuelas identificadas del cantón de Cañas, Guanacaste.

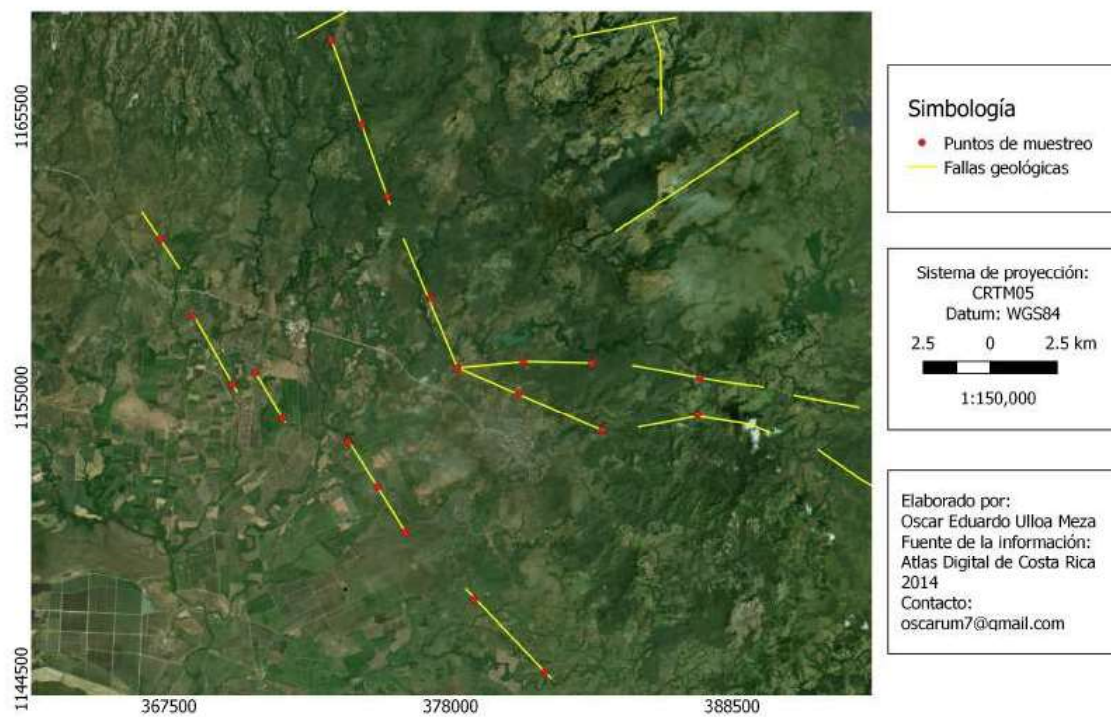


Figura A.3 Lugares preliminares para el muestreo de suelo en Guanacaste.

APÉNDICE 2: RESULTADO COMPLETO DE LA REGRESIÓN REALIZADA

Cuadro A.1. Resultados obtenidos de Minitab para la regresión de los mejores subconjuntos.

Vars	R-cuadrado	R-cuadrado (ajust.)	R-cuadrado (pred)	Cp de Mallows	S	Altura	Ha quemadas	Ha cultivadas	IDS
1	24.0	15.6	0.0	1.4	3.7701				X
1	18.0	8.8	0.0	2.1	3.9183			X	
1	15.7	6.3	0.0	2.4	3.9723	X			
2	43.5	29.4	0.0	1.3	3.4487		X		X
2	43.4	29.3	0.0	1.3	3.4511			X	X
2	35.3	19.1	0.0	2.2	3.6901	X			X
3	45.9	22.7	0.0	3.0	3.6087	X		X	X
3	45.5	22.1	0.0	3.0	3.6209	X	X		X
3	43.6	19.4	0.0	3.3	3.6850		X	X	X
4	45.9	9.8	0.0	5.0	3.8970	X	X	X	X

Método

Codificación de predictores categóricos (1; 0)

Cuadro A.2. Análisis de varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	157.54	19.692	3.62	0.234
Altura	1	54.61	54.614	10.05	0.087
Cultivadas	1	17.17	17.171	3.16	0.218
Quemadas	1	18.46	18.460	3.40	0.207
IDS	1	11.33	11.327	2.08	0.286
Arsénico	1	35.21	35.214	6.48	0.126
Viento	2	47.35	23.676	4.35	0.187
Andisoles	1	23.81	23.807	4.38	0.171
Error	2	10.87	5.437		
Total	10	168.41			

Cuadro A.3. Resumen del modelo.

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
2.33169	93.54%	67.72	*

Cuadro A.4. Coeficientes.

Término	Coef	EE del coef.	Valor de T	Valor de p	VIF
Constante	1.52	7.92	0.19	0.866	
Altura	-0.0431	0.0136	-3.17	0.087	10.09
Cultivadas	-0.0345	0.0194	-1.78	0.218	208.40
Quemadas	0.0425	0.0231	1.84	0.207	172.73
IDS	0.302	0.209	1.44	0.286	15.44
Arsénico					
Si	10.66	4.19	2.55	0.126	8.21
Viento					
>51	-12.64	4.62	-2.73	0.112	8.57
39-51	-7.38	3.03	-2.43	0.135	4.31
Andisoles					
Si	9.41	4.50	2.09	0.171	10.14

Cuadro A5. Ecuaciones de regresión.

Número	Presencia de arsénico en la zona	Viento (km/h)	Presencia de suelo andisol	Ecuación de regresión
1	No	<39	No	Tasa enfermedad = 1.52 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
2	No	<39	Si	Tasa enfermedad = 10.93 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
3	No	>51	No	Tasa enfermedad = -11.12 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
4	No	>51	Si	Tasa enfermedad = -1.71 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
5	No	39-51	No	Tasa enfermedad = -5.86 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
6	No	39-51	Si	Tasa enfermedad = 3.54 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
7	Si	<39	No	Tasa enfermedad = 12.18 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
8	Si	<39	Si	Tasa enfermedad = 21.58 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
9	Si	>51	No	Tasa enfermedad = -0.46 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
10	Si	>51	Si	Tasa enfermedad = 8.95 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
11	Si	39-51	No	Tasa enfermedad = 4.79 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS
12	Si	39-51	Si	Tasa enfermedad = 14.20 - 0.0431 Altura - 0.0345 Cultivadas + 0.0425 Quemadas + 0.302 IDS

Cuadro A6. Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes.

Obs	Tasa enfermedad	Ajuste	Resid	Resid est.
2	11.50	11.50	0.00	* X
11	3.00	3.00	0.00	* X

* X poco común X

Estadístico de Durbin-Watson

Estadístico de Durbin-Watson = 3.36070

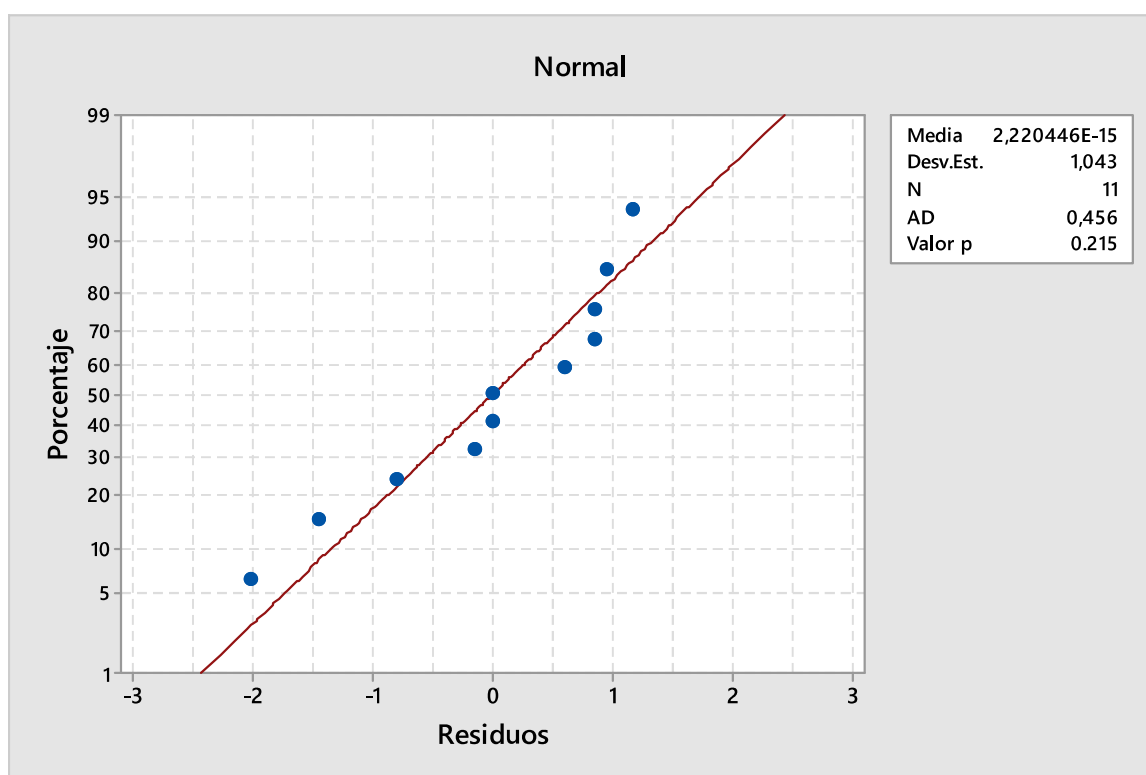


Figura A4. Gráfica de probabilidad de los residuos.

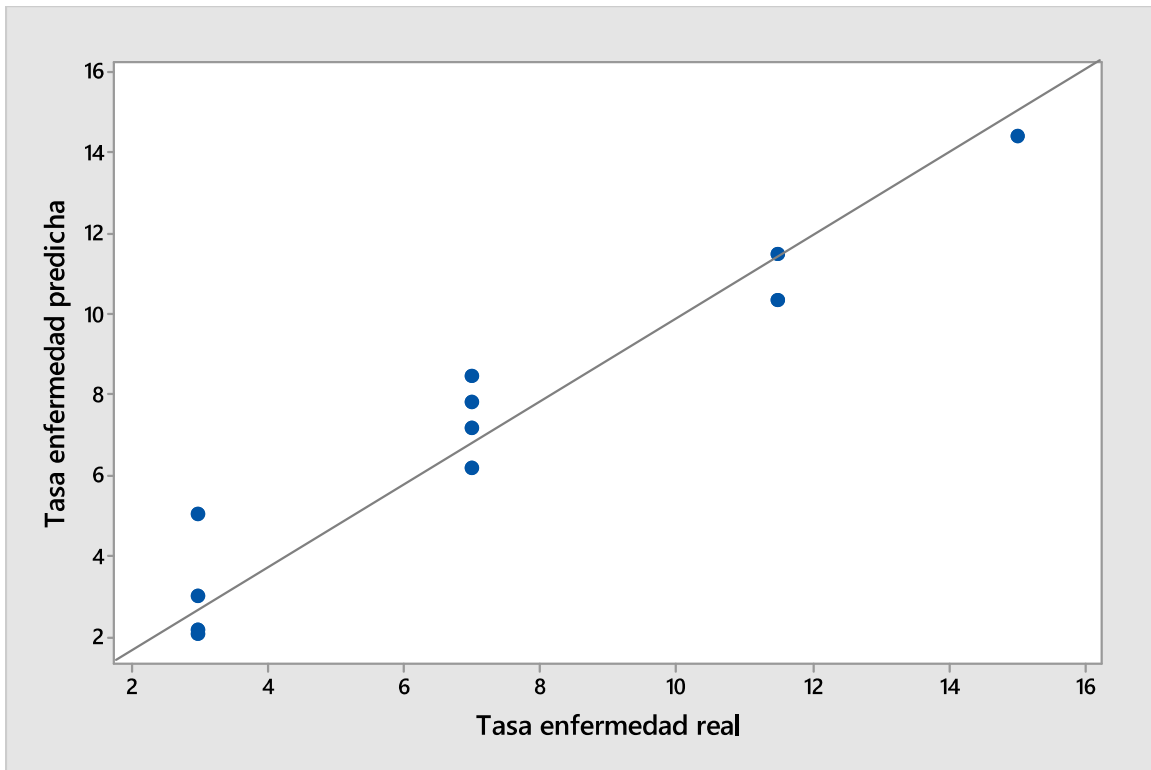


Figura A5. Gráfica de dispersión de la normalidad de la tasa de la enfermedad predicha vs. la tasa de la enfermedad real.

ANEXOS

ANEXO 1: MODELOS DE VIENTO ADICIONALES

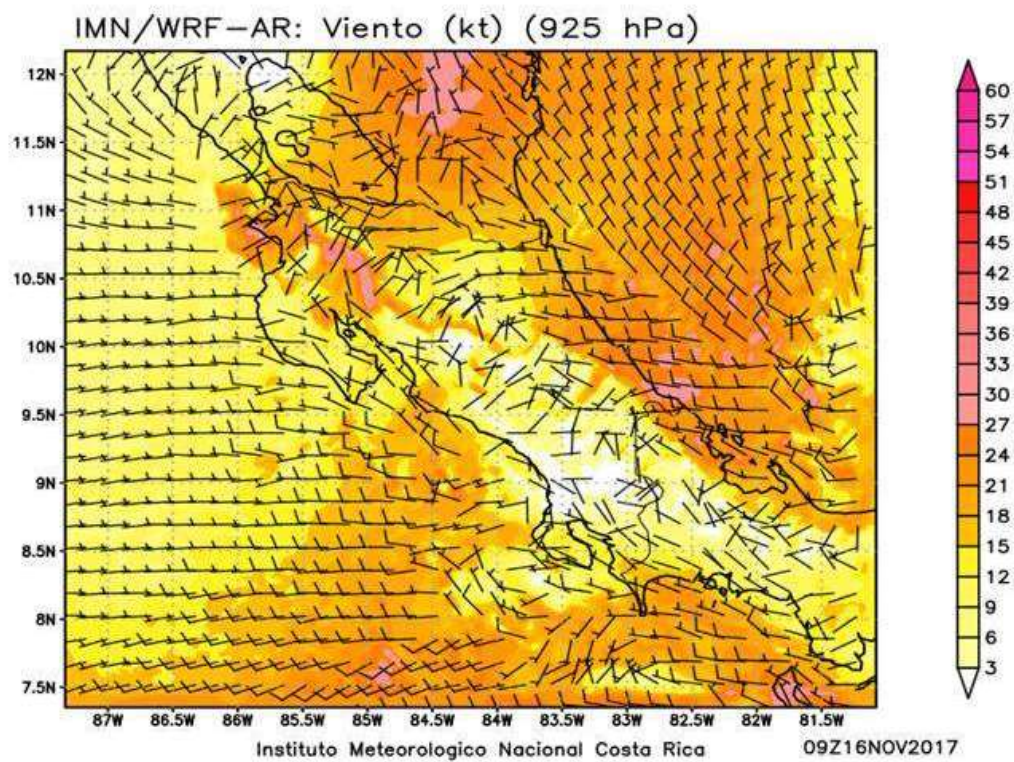


Figura A.1 Modelo computacional del viento en Guanacaste para el 16 de noviembre de 2017. Fuente: (IMN, 2017).

IMN-SARAPIQUI: Barbas y Viento (Kt)(925 hPa)

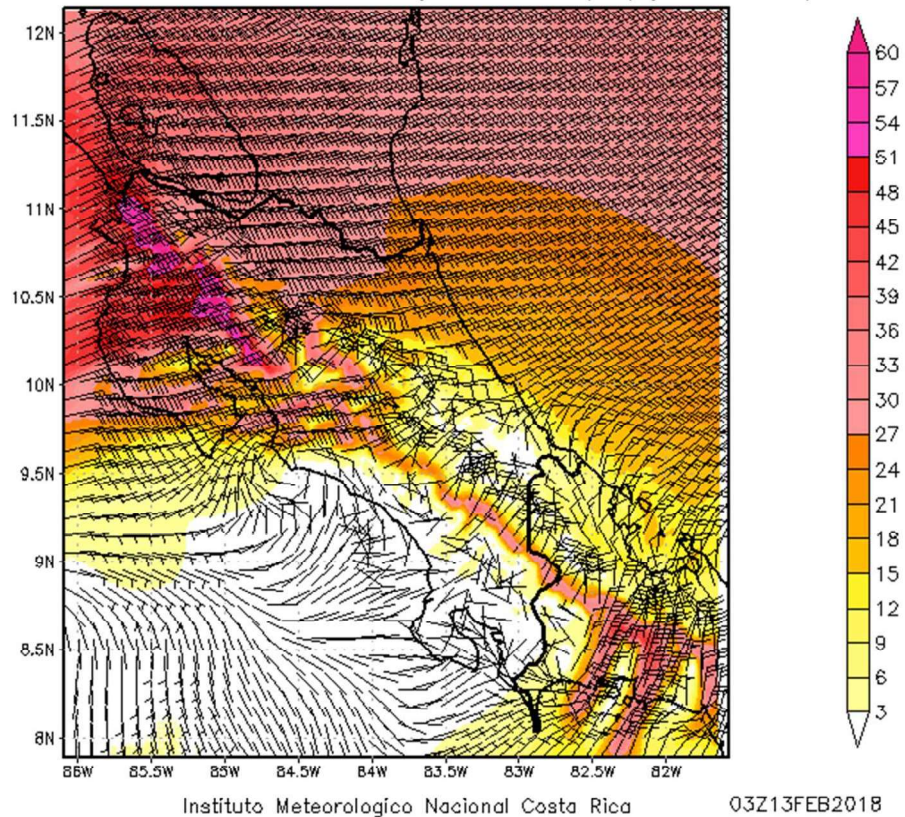


Figura A.2. Modelo computacional del viento en Guanacaste para el 13 de febrero de 2018. Fuente: (IMN, 2018).

IMN-SARAPIQUI: Barbas y Viento (Kt)(925 hPa)

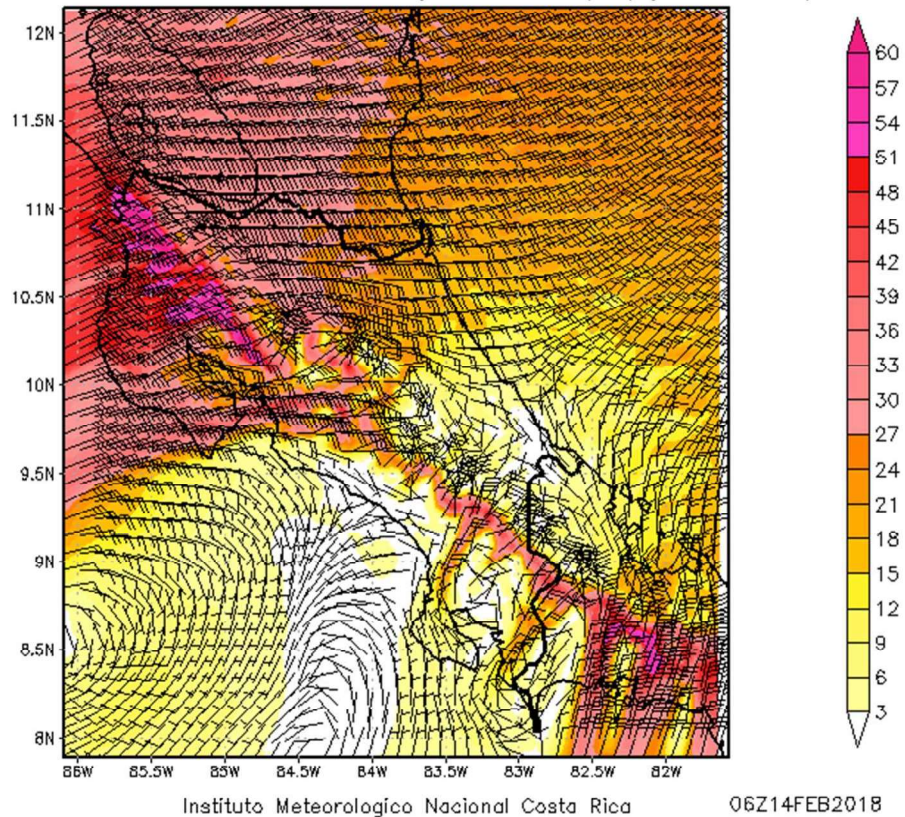


Figura A.3. Modelo computacional del viento en Guanacaste para el 14 de febrero de 2018. Fuente: (IMN, 2018).

IMN-SARAPIQUI: Barbas y Viento (Kt)(925 hPa)

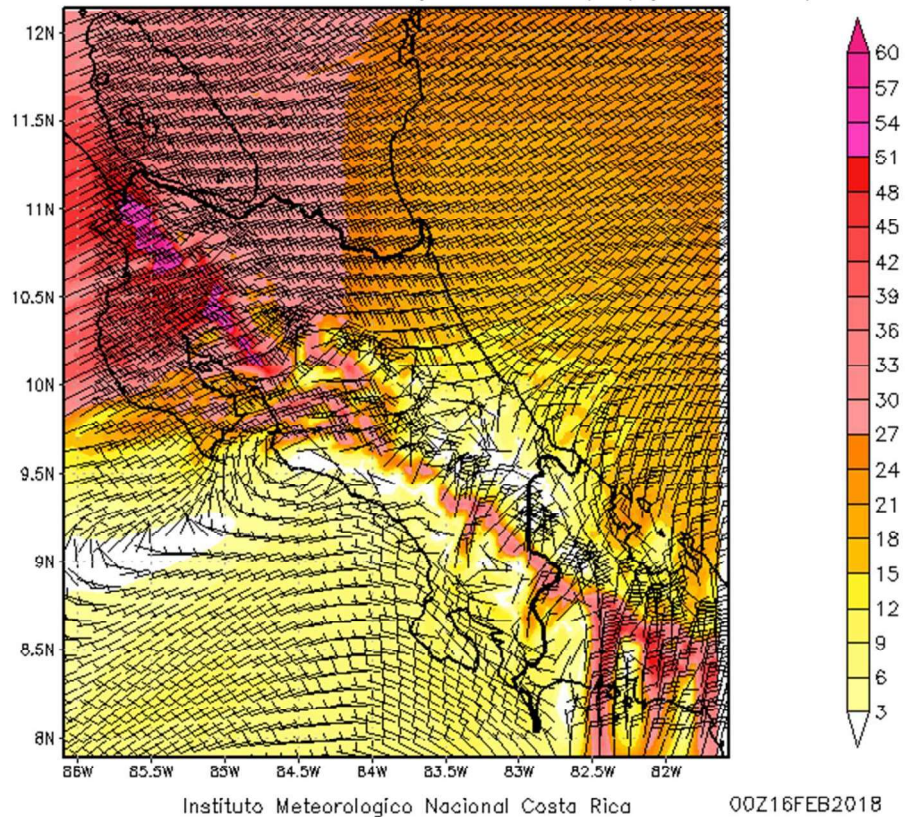


Figura A.4. Modelo computacional del viento en Guanacaste para el 16 de febrero de 2018. Fuente: (IMN, 2018).